



TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DI INSTALASI
PENJERNIHAN AIR MINUM KARANG PILANG 1 PDAM
SURABAYA AKIBAT INTEGRASI DENGAN KARANG
PILANG 2**

Herman Filani
NRP. 2213106013

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**COORDINATION EVALUATION SYSTEM PROTECTION
IN DRINKING WATER PURIFICATION INSTALLATION
KARANG PILANG 1 PDAM SURABAYA DUE TO
INTEGRATION WITH KARANG PILANG 2**

Herman Filani
NRP. 2213106013

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DI
INSTALASI PENJERNIHAN AIR MINUM KARANG
PILANG 1 PDAM SURABAYA AKIBAT INTEGRASI
DENGAN KARANG PILANG 2**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ardyono Privadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001



EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DI INSTALASI PENJERNIHAN AIR MINUM KARANG PILANG 1 PDAM SURABAYA AKIBAT INTEGRASI DENGAN KARANG PILANG 2

Nama : Herman Filani
Pembimbing I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Pembimbing II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

ABSTRAK

PDAM Surya Sembada Kota Surabaya sebagai salah satu produsen pengolahan air bersih terbesar di Indonesia, seiring dengan perkembangan industri pengolahan air bersih PDAM Surabaya telah banyak melakukan pengembangan pabrik. Saat ini salah satu pabrik pengolahan terbesar adalah IPAM Karang Pilang. Dengan adanya integrasi antara IPAM Karang Pilang 1 dan 2, muncul permasalahan pada sistem kelistrikannya. Pada saat terjadi gangguan sering terjadi kegagalan proteksi pada sistem kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang, sehingga kontinuitas daya ke beban terganggu dan mengakibatkan pemadaman yang lebih luas. Melalui tugas akhir ini dilaksanakan studi koordinasi proteksi pada system kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang 1 dan 2 yang tepat dalam mendeteksi dan mengisolir gangguan sehingga tidak mengganggu sistem yang sedang berjalan dan mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan peralatan listrik. Dari hasil plot koordinasi kurva arus waktu kondisi *existing*, *setting* koordinasi rele arus lebih fasa masih ada kesalahan koordinasi sehingga perlu dilakukan evaluasi ulang untuk mendapatkan hasil *resetting* yang bisa direkomendasikan sebagai *setting* rele pengamannya. Melalui hasil analisis dan perhitungan manual direkomendasikan penyetelan *pick up* rele arus lebih dan penyetelan *grading time* . Rele yang disetel ulang adalah rele arus lebih gangguan fasa (*overcurrent relay*).

Kata Kunci : Gangguan, koordinasi proteksi, rele arus lebih gangguan fasa.

**Coordination Evaluation System Protection In Drinking Water
Purification Installation Karang Pilang 1 PDAM Surabaya Due to
Integration With Karang Pilang 2**

Nama : Herman Filani
Pembimbing I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Pembimbing II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

ABSTRACT

PDAM Surya Sembada Kota Surabaya as one of the largest manufacturers of water treatment in Indonesia, along with the development of processing industry of PDAM Surabaya has a lot to develop the plant.. Currently one of the largest processing plants are IPAM Coral Pilang. With the integration between IPAM Karang Pilang 1 and 2, emerging problems in the electrical system. In the event of disruption frequent failure protection on the electrical system taps IPAM Karang Pilang, so that continuity uninterrupted power to the load and lead to blackouts wider.. Through this final project carried out the correct studies on the coordination of electrical system protection in order to detecting and isolating the fault so the running system is not disturbed and prevent damage to electrical equipment. The results of time current curve in exisiting conditions can be seen that there are misscoordination more phase relay current so that need to re-evaluate to get resetting result which can be reommended as relay security setting. Through the analysis and manual calculation result, give the recommendation to reset pick up setting and grading time of overcurrent relays. Relays that need to be reset are phase fault overcurrent relays.

Keywords : *Fault, coordination of protection , overcurrent relay.*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
TUGAS AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	5
KATA PENGANTAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	6
DAFTAR GAMBAR.....	8
DAFTAR TABEL.....	9
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Permasalahan	1
1.3. Batasan Masalah.....	1
1.4. Tujuan dan Manfaat.....	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II SISTEM PROTEKSI	7
2.1. Gangguan Sistem Tenaga Listrik	7
2.2. Rele Pengaman	8
2.3. Gangguan Yang Diamankan Pengaman Arus Lebih	10
2.3.1. Gangguan Beban Lebih	10
2.3.2. Gangguan Hubung Singkat	10
2.3.3. Perhitungan Arus Hubung Singkat	11
2.4. Rele Arus Lebih	11
2.4.1. Rele Arus Lebih Waktu Terbatas (<i>definite</i>).....	12
2.4.2. Rele Arus Lebih Waktu Invers	12
2.4.3. Rele Arus Lebih Waktu Insatan (Moment)	13
2.5. Penyetelan Rele Arus Lebih	14
2.5.1. Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers	14
2.5.2. Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	15
2.5.3. Koordinasi Rele Arus dan Waktu	16
2.6. Rele Gangguan Tanah	17
2.7. Penyetelan Rele Gangguan Tanah.....	17

BAB III SISTEM KELISTRIKAN PDAM KARANG PILANG	19
3.1. Sistem Kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang	19
3.2. Sistem Distribusi	21
3.3. Beban	23
BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA	25
4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan PDAM	25
4.2. Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman pada PDAM Karang Pilang	25
4.3. Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat	26
4.3.1. Hubung Singkat Minimum	26
4.3.2. Hubung Singkat Maksimum	27
4.4. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	28
4.4.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1	29
4.4.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2	46
4.4.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3	59
4.5. Setting CB PLN	73
BAB V PENUTUP	75
5.1. Kesimpulan	75
5.2. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Flow Chart</i> Metodologi Tugas Akhir.....	3
Gambar 2. 1 Skema Rele Pengaman	9
Gambar 2. 2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	12
Gambar 2. 3 Karakteristik <i>Standard Inverse</i> , <i>Very Inverse</i> dan <i>Extremely Inverse</i>	13
Gambar 2. 4 Karakteristik Rele Arus Lebih <i>Instant</i>	14
Gambar 2. 5 Kombinasi Idmt Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan ..	14
Gambar 2. 6 Rele Arus Lebih Pengamanan Trafo.....	16
Gambar 3. 1 Sistem Kelistrikan Eksisting IPAM Karang Pilang PDAM Surabaya	20
Gambar 4. 1 Tipikal Koordinasi 1a.....	29
Gambar 4. 2 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1a	30
Gambar 4. 3 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1a	35
Gambar 4. 4 Tipikal Koordinasi 1b.....	36
Gambar 4. 5 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1b.....	37
Gambar 4. 6 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1b	41
Gambar 4. 7 Tipikal Koordinasi 1c	42
Gambar 4. 8 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 1c	42
Gambar 4. 9 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 1c	46
Gambar 4. 10 Koordinasi Rele Tipikal 2a	47
Gambar 4. 11 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 2a	48
Gambar 4. 12 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 2a	53
Gambar 4. 13 Koordinasi Rele Tipikal 2b	54
Gambar 4. 14 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 2b	55
Gambar 4. 15 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 2b.....	59
Gambar 4. 16 Koordinasi Rele Tipikal 3a	60
Gambar 4. 17 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 3a	61
Gambar 4. 18 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 3a... ..	65
Gambar 4. 19 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 3.b.....	66
Gambar 4. 20 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Existing</i> Tipikal 3b	67
Gambar 4. 21 Kurva Koordinasi Arus Waktu <i>Resetting</i> Tipikal 3b.....	72
Gambar 4. 22 Setting CB yang masuk kensubstation sistemkelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Invers <i>Time Dial</i>	15
Tabel 3. 1 Data Transformator.....	21
Tabel 3. 2 Data <i>Bus</i>	22
Tabel 3. 3 Data Motor Utama Karang Pilang 1	23
Tabel 3. 4 Data Motor Utama Karang Pilang 2	24
Tabel 4. 1 Data Hubung Singkat Minimum 30 Cycle	26
Tabel 4. 2 Data Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i>	28

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem kelistrikan dengan keandalan dan kontinuitas yang baik sangat dibutuhkan suatu industri untuk menjaga proses produksi berlangsung dengan baik. Koordinasi proteksi rele pengaman berperan sangat penting dalam menjamin keandalan sistem kelistrikan tersebut. Salah satu metode yang dilakukan untuk memperoleh keandalan sistem adalah koordinasi rele pengaman dengan memfungsikan rele sebagai pengaman utama dan pengaman cadangan. Fungsi utama dari sistem proteksi dan koordinasi adalah untuk menghindari kecelakaan para pekerja, meminimalkan kerusakan pada komponen – komponen sistem kelistrikan, dan untuk membatasi kegagalan yang luas ketika terjadi gangguan pada peralatan, kesalahan manusia pada sistem kelistrikan tersebut [1].

Tugas akhir ini dibuat untuk mengevaluasi koordinasi proteksi sistem kelistrikan di IPAM Karang Pilang 1 PDAM Surabaya akibat integrasi dengan IPAM Karang Pilang 2 sehingga dapat diketahui koordinasi rele pengaman yang baik dan efisien. Dalam menganalisa seting rele pegaman perlu diperhatikan besar arus gangguan saat terjadi hubung singkat dan arus beban penuhnya.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana menghitung arus hubung singkat yang mungkin terjadi pada sistem dengan menggunakan ETAP
2. Bagaimana menentukan seting rele pengaman dan koordinasi proteksi.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis membatasi permasalahan yang dibahas adalah analisis aliran daya pada sistem kelistrikan PDAM SURABAYA IPAM Karang pilang kemudian melakukan analisis hubung singkat gangguan fasa sehingga dapat ditentukan setelan rele dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi ETAP 12.6.0.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tugas Akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut :

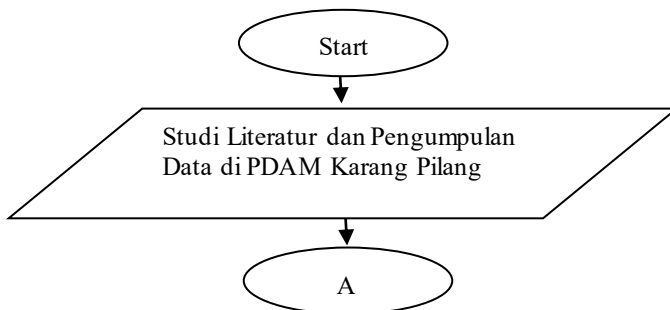
1. Mengetahui besar arus hubung singkat yang mungkin terjadi bila terjadi gangguan
2. Mengetahui seting masing - masing rele pengaman.
3. Mengetahui koordinasi yang efisien dari sistem proteksi dari hasil simulasi dengan ETAP.

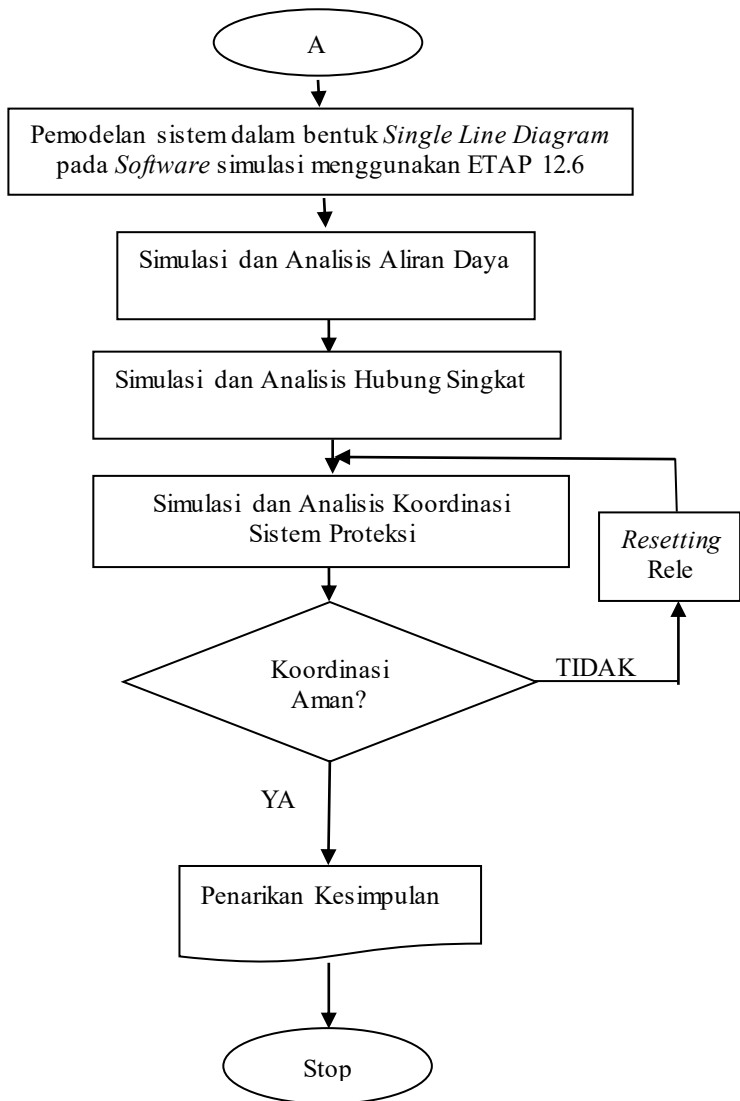
Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat membawa manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi seting rele pengaman yang sesuai.
2. Memberikan data koordinasi rele pengaman yang efisien dari hasil simulasi ETAP
3. Sebagai refrensi untuk IPAM Karang Pilang terhadap seting rele pengaman 20 kV.

1.5 Metodologi

Alur metodologi penyelesaian tugas akhir ini dapat digambarkan dalam *flow chart* Gambar 1.1:





Gambar 1.1 Flow chart metodologi tugas akhir

Metode yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Hal yang dilakukan pertama kali adalah studi literatur untuk menambah pemahaman mengenai permasalahan yang dihadapi. Literatur yang digunakan berupa beberapa buku, jurnal ilmiah, serta *user manual* peralatan. Data yang diperlukan adalah *rating* trafo, kabel, motor, kapasitas busbar, Seting eksisting rele pengaman dan *single line diagram* PDAM Surya Sembada Kota Surabaya IPAM Karangpilang. Data *rating* yang dibutuhkan berupa manufaktur, kV rating, pf rating, *Full Load Ampere (FLA)*, impedansi, daya dan hubungan belitan pada transformator dan motor.

2. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Setelah mendapatkan data-data yang lengkap, maka dilakukan pemodelan dalam bentuk *Single Line Diagram* menggunakan *software* ETAP 12.6. Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat sehingga dapat diketahui besarnya daya yang mengalir dan besarnya arus jika terjadi hubung singkat pada sistem kelistrikan PDAM.

3. Analisis

Hasil dari simulasi aliran daya digunakan untuk mengetahui aliran daya *existing* pada *Single Line Diagram* yang telah dibuat. Dari hasil simulasi hubung singkat dapat dianalisa *setting* dan koordinasi rele-rele pengaman arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah yang terpasang pada sistem kelistrikan PDAM Surabaya IPAM Karangpilang. Dengan demikian akan diketahui apakah setelan dan koordinasi rele pengaman kondisi *existing* sudah tepat atau masih perlu dilakukan *resetting* rele dan koordinasi rele pengaman yang tepat.

4. Kesimpulan

Setelah tahap simulasi dan analisis dilakukan, maka langkah yang terakhir adalah pembuatan kesimpulan. Selain itu, penulis juga akan memberikan saran dan rekomendasi berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi, dan sistematika pembahasan.

BAB II : KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang menunjang dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB III : SISTEM KELISTRIKAN PDAM SURABAYA IPAM KARANG PILANG

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan eksisting PDAM IPAM KARANG PILANG 1 DAN 2 ,bagaimana konfigurasinya dan beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik PDAM IPAM KARANG PILANG.

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perhitungan-perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan. Bab ini menyajikan analisis terhadap koordinasi setelan rele yang baru ketika terjadi hubung singkat serta beberapa rekomendasi untuk setelan rele baru sehingga menghasilkan koordinasi yang lebih baik.

BAB V: PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

Sistem pengamanan tenaga listrik merupakan sistem pengamanan pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, bus bar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut.

Sistem tenaga harus didesain agar rele proteksi dapat beroperasi untuk merasakan dan mengisolasi gangguan secepatnya. Rele proteksi penting dalam industri sistem tenaga karena dapat mencegah kerugian produksi yang besar akibat padamnya peralatan atau kerusakan peralatan yang tidak perlu yang disebabkan oleh adanya gangguan atau *overload*. Arus gangguan yang mengalir pada sistem tenaga listrik menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) sehingga aliran daya yang mengalir terputus.

Zona proteksi diklasifikasikan sebagai primer atau *back up*. Rele proteksi primer adalah pertahanan pertama terhadap gangguan sistem dan beroperasi pertama untuk mengisolasi gangguan. Umumnya, rele kecepatan-tinggi (misal, waktu operasi *breaker* 1 cycle hingga 3cycle). Jika gangguan tidak terisolasi setelah beberapa waktu *delay*, proteksi *backup* akan bekerja dengan melakukan *trip circuit breaker* utama atau dengan melakukan *trip circuit breaker* pada zona yang berdekatan.

2.1. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Berdasarkan referensi [4], gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik akan mengalir arus yang besar menuju ke titik gangguan. Arus gangguan tersebut memiliki nilai yang lebih besar dari rating arus maksimum yang di ijin, sehingga terjadi kenaikan temperatur pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan. Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

Gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan dan arus yang tidak normal.
2. Pemasangan rele yang kurang baik.

3. Terjadinya kesalahan mekanis karena adanya proses penuaan pada peralatan.
4. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat konduktor putus, atau kabel cacat pada isolasi.
5. Beban lebih.

Sedangkan untuk gangguan pada sistem tenaga listrik yang berasal dari luar sistem antara lain :

1. Gangguan-gangguan yang bersifat mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, bintang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

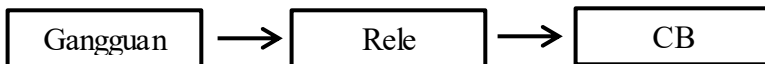
Untuk jenis gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu [2]:

1. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu untuk memperbaikinya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.
2. Gangguan yang bersifat temporer, dimana gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan seketika, baik hilang dengan sendirinya maupun karena kerja alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

2.2. Rele Pengaman

Dalam suatu sistem proteksi haruslah dapat mengatasi berbagai macam gangguan-gangguan yang memungkinkan terjadinya bahaya, oleh sebab itu dibutuhkan rele pengaman. Sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menghasilkan dan mengalirkan energi listrik ke konsumen. Oleh karena itu sistem tersebut haruslah dirancang sebaik mungkin agar kontinuitas daya listrik tetap terjaga, handal, dan ekonomis.

Dalam membangun suatu sistem tenaga listrik diperlukan biaya yang banyak karena sistem yang rumit dan membutuhkan peralatan yang bermacam-macam. Dengan lengkapnya peralatan yang digunakan diharapkan sistem pengaman berjalan dengan baik dan tepat. Apabila terjadi sebuah gangguan arus lebih, rele pengaman akan memerintahkan *circuit breaker* untuk bekerja. Gambar 2.1 berikut adalah skema dari kerja rele pengaman tersebut.



Gambar 2. 1 Skema Rele Pengaman

Dalam pengoperasiannya, peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi beberapa syarat sesuai dengan referensi [2]:

a) Selektifitas

Selektifitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan *tripping* secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi tersebut. Dalam pengertian lain, suatu proteksi sistem tenaga harus bisa bekerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jeni gangguan yang harus diamankan.

b) Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu agar tetap bertahan pada karakteristik kerjanya. Stabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksi sehingga tidak terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang bukan merupakan besaran yang perlu dipertimbangkan.

c) Sensitifitas

Sensitifitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lain dimana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele disebut sensitif bila parameter operasi utamanya rendah. Artinya, semakin rendah besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif.

d) Kecepatan

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mengisolasi gangguan secepat dan sesegara mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya listrik dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem sehingga pada akhirnya dapat merusak sistem tenaga tersebut.

e) Keandalan

Kebutuhan perangkat sistem proteksi dengan tingkat keandalan yang tinggi merupakan salah satu faktor pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan jaringan sistem tenaga listrik. Dari berbagai pengalaman lapangan terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keandalan sistem proteksi jaringan tenaga listrik antara lain yaitu : perancangan, setelan rele, salah instalasi dan faktor kinerja.

2.3. Gangguan yang Diamankan Pengaman Arus Lebih [2]

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

2.3.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ($I > I_n$). Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik (trafo, generator, motor, dll) dan pengaman yang terpasang. Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus, maka dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.3.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharaannya.

Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat membukanya *circuit breaker*.

2.3.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dapat dilakukan sebagai berikut [3]:

- **Hubung Singkat Tiga Fasa**

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc3}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc3} = \frac{VLN}{X1} \dots\dots\dots (1).$$

- **Hubung Singkat Antar Fasa**

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Apabila nilai $x1$ sama dengan nilai $x2$, Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc2}) diberikan oleh persamaan berikut, :

$$I_{sc2} = \frac{VLL}{X1+X2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0,86 I_{sc3} \dots\dots\dots (2)$$

- **Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc0}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3VLN}{X1+X2+X0} \dots\dots\dots (3)$$

Di mana :

$X1$ = Reaktansi urutan positif

$X2$ = Reaktansi urutan negatif

$X0$ = Reaktansi urutan nol

2.4. Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

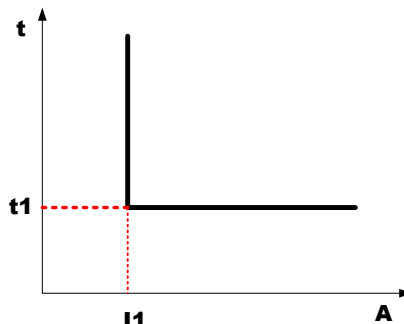
Rele arus lebih adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut [4]:

$I_f > I_p$	rele bekerja	(trip)
$I_f < I_p$	tidak bekerja	(blok)

Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Dan I_f merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, trafo, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *invers*, Rele arus lebih waktu instan.

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang *disetting*. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*) [5]. Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.



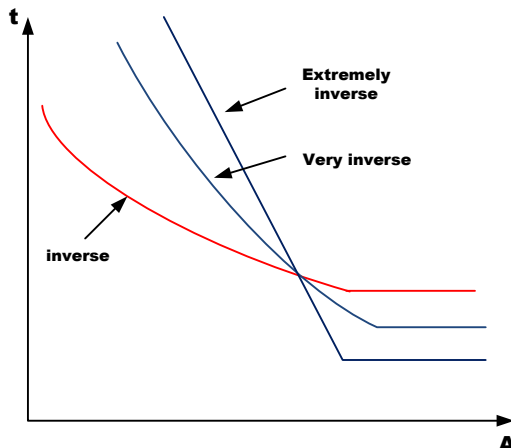
Gambar 2.2 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih ini memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan [6]. Jadi, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele akan lebih lama. TCC (*time-current characteristic*) adalah kurva

dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

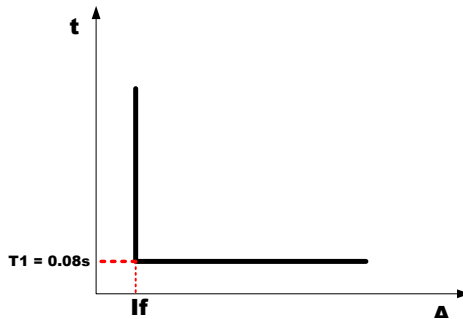
Karakteristik invers ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* [7] seperti pada Gambar 2.3. Standar lain, misalnya standar IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*. Kurva invers ini sering dijumpai dengan *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite* minimumnya.



Gambar 2.3 Karakteristik *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*

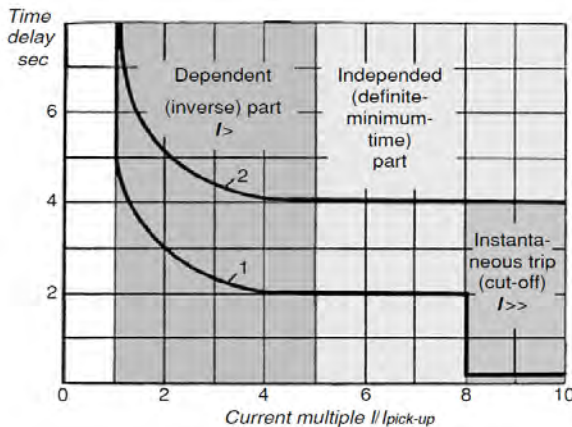
2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1 detik, pada umumnya kurang dari 0.08 detik, seperti terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Karakteristik rele arus lebih *instant*

Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms). Gambar 2.5 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan



Gambar 2.5 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan [8]

2.5. **Penyetelan Rele Arus Lebih**

2.5.1 **Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers**

Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar

dari arus beban maksimum. *Rele* arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} \dots\dots\dots(4)$$

Iset adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart British BS 142 batas penyetelannya adalah 1.05-1.3 *Iset*.

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [9]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots\dots\dots (5)$$

Di mana :

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- Iset* = arus *pickup* (Ampere)
- k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)
- β = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien invers *time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

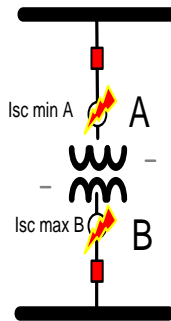
2.5.2 Setting Rele Arus Lebih Instan

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan *Isc min* yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min}} \dots\dots\dots (6)$$

Untuk Pertimbangan khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada Gambar 2.6. Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \max \text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min, A} \dots\dots\dots (7)$$



Gambar 2.6 Rele arus lebih pengamanan trafo

Di mana $I_{sc \max \text{ bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc \min, A}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.5.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Antara rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. *Time delay* ini sering dikenal sebagai setelan *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0.2 – 0.35 detik [8]. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

- Waktu buka CB : 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)
- Overtravel* dari rele : 0,1s
- Faktor keamanan : 0,12-0,22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,4s.

2.6. **Rele Gangguan tanah**

Gangguan satu fasa ke tanah dapat diamankan dengan rele gangguan tanah. Rele ini adalah pengaman arus lebih yang dilengkapi *zero sequence current filter*. Rele gangguan ke tanah dapat digunakan pada sistem yang dibatasi arus gangguan ke tanahnya menggunakan sistem pentanahan.

2.7. **Penyetelan Rele Gangguan tanah**

Pertimbangan pada *setting* koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah adalah:

- Arus urutan nol akan terisolasi pada trafo belitan delta
- Arus urutan nol akan mengalir dari sumber gangguan trafo belitan Wye

Sedangkan untuk *setting* rele gangguan ke tanah adalah :

$$5-10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc\ L-G} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan $I_{sc\ L-G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PDAM IPAM KARANG PILANG

PDAM Surya Sembada Kota Surabaya adalah Badan Usaha Milik Daerah yang bergerak dalam bidang pengolahan air minum untuk warga kota Surabaya dan sekitarnya. Dalam menjalankan bisnisnya PDAM Surabaya mempunyai 2 unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM). Salah satu unitnya yaitu IPAM Karang Pilang yang mempunyai 3 unit sub pengolahan, yaitu IPAM Karang Pilang 1, 2, dan 3.

3.1 Sistem Kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang

PDAM Surabaya IPAM Karang Pilang hanya mengandalkan pasokan daya listrik dari PLN dalam memenuhi kebutuhan bebannya, sehingga jika PLN terjadi gangguan maka tidak bisa melakukan aktifitas produksi. IPAM Karang Pilang termasuk dalam golongan tarif I3 dengan kapasitas daya terpasang sebesar 6930 kVA. Pada sistem kelistrikan IPAM Karang Pilang PDAM Surabaya terdapat lima rating tegangan yang digunakan, yaitu :

1. Tegangan 20 kV

Tegangan 20 kV masuk dari outgoing PLN ke panel incoming PDAM IPAM Karang Pilang untuk mensupplay beban-beban yang digunakan dalam proses pengolahan air minum.

2. Tegangan 6,3 KV

Tegangan ini digunakan pada motor-motor dengan kapasitas besar antara 400 kW – 500 kW untuk menggerakkan beban yang berupa pompa sentrifugal.

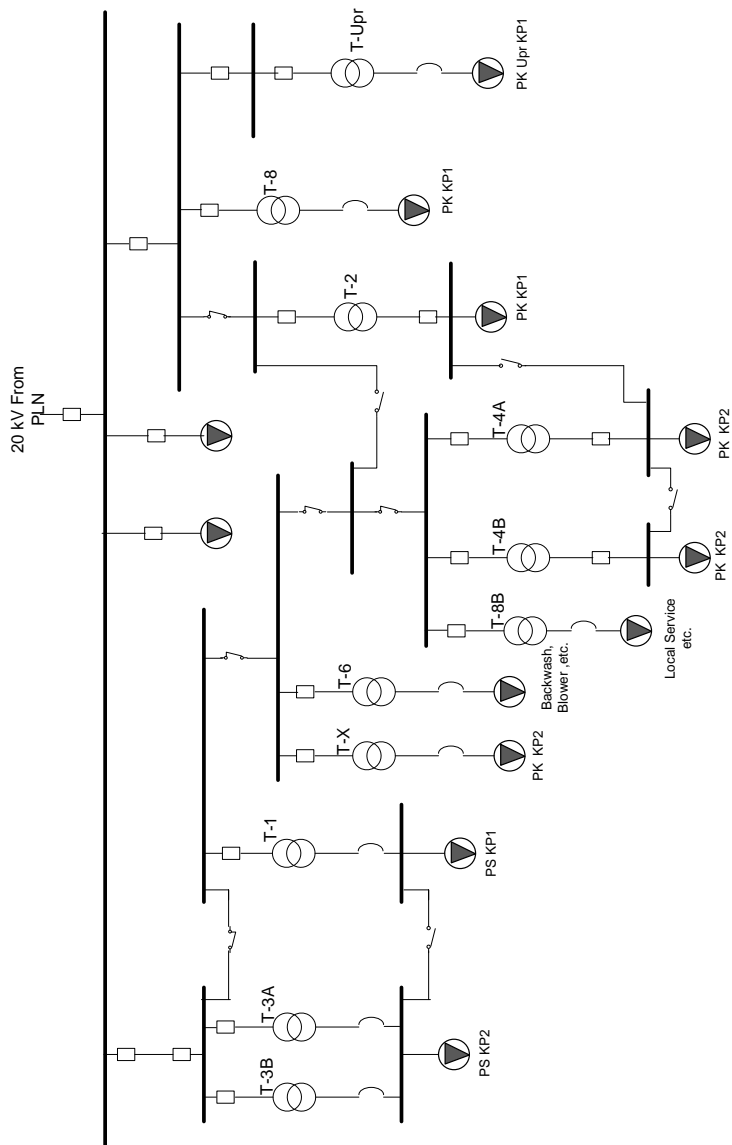
3. Tegangan 380 V

Untuk mensupplay motor-motor dengan kapasitas kecil yang digunakan dalam proses pengolahan air bersih seperti motor untuk menggerakkan pompa air baku, pompa backwash, blower dan lain-lain.

4. Tegangan 220 V

Digunakan untuk lampu penerangan, *instrument*, *control*, dan kebutuhan lainnya.

Single line diagram sistem kelistrikan IPAM Karang Pilang yang telah disederhanakan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Sistem Kelistrikan Eksisting IPAM Karang Pilang PDAM Kota Surabaya

3.2 Sistem Distribusi di PDAM IPAM Karang Pilang

Sumber utama tenaga listrik di PDAM IPAM Karang PLN adalah supplay dari PLN, sehingga akan terjadi pemadaman jika dari sisi PLN ada gangguan karena tidak ada gernerator sebagai sumber tenaga listrik cadangan. Sistem distribusi merupakan kesatuan peralatan yang bekerja menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke beban. Sistem pendistribusian tenaga listrik yang digunakan di PDAM IPAM Karang Pilang adalah sistem distribusi radial. Tenaga listrik akan di distribusikan ke seluruh beban yang ada dengan di dukung oleh beberapa trafo yang ada untuk menyuplai setiap beban yang digunakan dalam proses pengolahan air minum. Sistem distribusi tersebut menggunakan tegangan menengah 20 kV dan 6,3 kV untuk melayani beban *Medium Voltage*. Tegangan menengah ini akan diturunkan dengan trafo *step down* menjadi tegangan rendah 0,4 kV untuk melayani beban tegangan rendah . Data trafo dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Transformator

No	ID Trafo	Rating		
		kVA	Primer (kV)	Sekunder (kV)
1	T1	750	20	0,4
2	T2	3150	20	6,3
3	T 3A	400	20	0,4
4	T 3B	400	20	0,4
5	T 4A	2500	20	6,3
6	T 4B	2500	20	6,3
7	T5	2000	20	0,4
8	T6	2000	20	0,4
9	T7	630	20	0,4
10	T8	315	20	0,4
11	T 8A	100	20	0,4
12	T Uprating	630	20	0,4

Untuk transformator distribusi digunakan jenis transformator *step down* dengan beberapa kapasitas yang berbeda. Umumnya transformator distribusi ini menggunakan hubungan delta bintang dengan menggunakan pentanahan *solid grounding*. Pada sistem kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang ada beberapa bus yang saling berhubungan sehingga jika terjadi gangguan pada salah satu bus bisa mengambil supllay dari bus yang lain. Data bus dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data bus

No.	BUS ID	Tegangan (kV)
1	MVDP-F21	6,3
2	MVP-T22 & MVP-T4A/B	20
3	MVP-T5	20
4	MVP-T6	20
5	MVP-T1	20
6	MVP-T3A/B	20
7	INCOMING	20
8	MVP-T8	20
9	MVP-T21	20
10	MVDP-PF	6,3
11	LVDP-F	0,4
12	MVDP-Tupt	20
13	LVMDP2	0,4
14	LVMDP1	0,4
15	LVAP-1	0,4
16	LVAP-2	0,4
17	LVDP-1	0,4
18	LVDP-2	0,4

3.3 Beban

Beban yang digunakan di PDAM IPAM Karang Pilang terdiri dari beban motor dan beban statis. Beberapa beban motor yang ada contohnya antara lain : motor penggerak pompa air baku dan pompa distribusi . Sedangkan contoh dari beban statis yaitu lampu-lampu penerangan .

Dalam proses pengolahan air, ada banyak motor yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasi di PDAM IPAM Karang Pilang. Umumnya motor yang digunakan adalah motor induksi dengan kapasitas besar yang menggunakan tegangan 6,3 kV. Sedangkan motor-motor berkapasitas kecil menggunakan tegangan 0,4 kV. Tabel 3.3 dan tabel 3.4. berikut ditunjukkan data dari beberapa motor utama yang ada di PDAM IPAM Karang Pilang.

Tabel 3.3 Data motor Utama Karang Pilang 1

No	ID Motor	Rating (kW)	kV	FLA
1	PS1 KP1	155	0,4	276,8
2	PS2 KP1	155	0,4	276,8
3	PS1.1 KP1	30	0,4	60,14
4	PS1.2 KP	30	0,4	60,14
5	PS1.3 KP1	30	0,4	60,14
6	PS1.4 KP1	30	0,4	60,14
7	PK1A.1 KP1	75	0,4	132,2
8	PK1A.2 KP1	75	0,4	132,2
9	PK1A.3 KP1	75	0,4	132,2
10	PK1B.1 KP1	186.5	0,4	315,7
11	PK1B.2 KP1	186.5	0,4	315,7
12	PK1 KP1	500	6,3	53,53
13	PK2 KP1	500	6,3	53,53

Tabel 3.4 Data motor Utama Karang Pilang 2

No	ID Motor	Rating (kW)	kV	FLA
1	PS1 KP2	155	0,4	276,8
2	PS2 KP2	155	0,4	276,8
3	PS3 KP2	155	0,4	276,8
4	PS4 KP2	155	0,4	276,8
5	PS1.1 KP2	90	0,4	173,1
6	PS1.2 KP2	90	0,4	173,1
7	PS1.3 KP2	90	0,4	173,1
8	PK1A.1 KP2	162	0,4	274,7
9	PK1A.2 KP2	162	0,4	274,7
10	PK1A.3 KP2	162	0,4	274,7
11	PK1 KP2	400	6,3	49,84
12	PK2 KP2	400	6,3	49,84
13	PK3 KP2	400	6,3	49,84
14	PK4 KP2	400	6,3	49,84
15	PK5 KP2	400	6,3	49,84
16	PK6 KP2	400	6,3	49,84

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PDAM IPAM KARANG PILANG 1&2

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang

Pemodelan sistem kelistrikan pada PDAM IPAM Karang Pilang dilakukan dengan membuat *single line diagram* pada *software* simulasi ETAP 12.6. Dalam pembuatan *single line diagram* tersebut dibutuhkan data kabel, transformator, motor, *bus*, rele *eksisting* dan sistem pentanahan.

Setelah pemodelan di *software* ETAP tersebut selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui kondisi sistem pada saat *steady state*. Dari analisis ini dapat diketahui tegangan *bus*, faktor daya, pembebanan trafo dan yang lainnya sesuai kebutuhan.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PDAM IPAM Karang Pilang

Untuk mempermudah dalam *setting* koordinasi rele pengaman, maka dipilih beberapa tipikal yang mewakili sistem kelistrikan di PDAM IPAM Karang Pilang. Tipikal ini akan menjadi acuan dalam *setting* koordinasi proteksi yang lain. Berdasarkan pemilihan tipikal maka dipilih 4 tipikal dengan acuan, saluran terpanjang, serta beban terbesar, diantaranya yaitu :

- 1) Tipikal 1 pada sistem kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang adalah koordinasi rele arus lebih fasa (50/51) dari *Substation* ke ruang pompa distribusi IPAM Karang Pilang 2. Tipikal ini terdiri dari level tegangan 20 kV dan 6,3 kV. Sedangkan rele pengaman yang dikoordinasikan adalah Rele M1 Fwd KP2, Rele Out T4A, Rele T4A, Rele T56, Rele T3A/3B, Rele Intk kp2, dan Rele incoming.
- 2) Koordinasi rele arus lebih fasa (50/51) beban motor penggerak pompa air distribusi Karang Pilang 1 untuk selanjutnya dijadikan sebagai tipikal 2. Rele pengaman yang dikoordinasikan adalah Rele M2 Fwd KP1, Rele Out T2, Rele T2, Rele MVP-T8, dan Rele incoming. Pemilihan tipikal ini berdasarkan koordinasi rele motor dengan daya terbesar.

- 3) Koordinasi rele arus lebih fasa (50/51) mulai dari rele pengaman motor tegangan rendah penggerak pompa air baku di IPAM Karang Pilang 2 hingga ke ruang substation. Rele pengaman yang dikoordinasikan adalah CB sub intk, CB LVAP-2, CB out T3A, Rele 3A, Rele Intk kp2, dan Rele incoming.

4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah melakukan analisis *load flow* pada pemodelan sistem kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang, maka langkah selanjutnya adalah analisis hubung singkat (*short circuit*) menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Analisis ini digunakan untuk menentukan batas *setting* rele arus lebih. Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan 2 parameter, yaitu hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada saat 4 *cycle*. Pada analisis ini dilakukan pada *bus-bus* tipikal yang dipilih pada bahasan sebelumnya.

4.3.1 Hubung Singkat Minimum

Nilai arus hubung singkat minimum ini digunakan sebagai batasan *pickup (setting)* rele arus lebih instan. Sehingga diharapkan apabila ada gangguan hubung singkat pada arus gangguan minimum di bus tertentu, rele tersebut dapat bekerja dengan instan atau sesuai dengan *time delay* yang telah ditentukan.

Pada simulasi hubung singkat minimum 30 *cycle* dilakukan pada *bus* yang telah ditipikal. Sehingga hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hubung singkat minimum 30 *cycle*

No.	BUS ID	Tegangan (kV)	Isc Min (A)
1	MVDP-F21	6,3	2770
2	MVP-T22 & MVP-T4A/B	20	11060

Tabel 4.1 Data hubung singkat minimum 30 *cycle* (lanjutan)

No.	BUS ID	Tegangan (kV)	Isc Min (A)
3	MVP-T5	20	11380
4	MVP-T6	20	11380
5	MVP-T1	20	12020
6	MVP-T3A/B	20	12070
7	INCOMING	20	12500
8	MVP-T8	20	12180
9	MVP-T21	20	11850
10	MVDP-PF	6,3	33580
11	LVDP-F	0,4	3110
12	MVDP-Tupt	20	12180
13	LVMDP2	0,4	18200
14	LVMDP1	0,4	9230
15	LVAP-1	0,4	460200
16	LVAP-2	0,4	25400
17	LVDP-1	0,4	460200
18	LVDP-2	0,4	25400

4.3.2 Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle

Nilai arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan untuk *setting* rele dengan *setting* kelambatan waktu 0,08s-0,5s. Sedangkan hubung singkat maksimum 30 *cycle* digunakan untuk *setting* kelambatan waktu 0,6s dan seterusnya. Hubung singkat maksimum ini digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi.

Simulasi hubung singkat maksimum dilakukan pada tiap *bus* yang telah ditipikal. Hasil dari simulasi hubung singkat maksimum dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hubung singkat maksimum 4 cycle

No.	BUS ID	Tegangan (kV)	Isc Max (A)
1	MVDP-F21	6,3	3410
2	MVP-T22 & MVP-T4A/B	20	12540
3	MVP-T5	20	13290
4	MVP-T6	20	13290
5	MVP-T1	20	14060
6	MVP-T3A/B	20	14110
7	INCOMING	20	14890
8	MVP-T8	20	14490
9	MVP-T21	20	14090
10	MVDP-PF	6,3	39840
11	LVDP-F	0,4	3830
12	MVDP-Tupt	20	14940
13	LVMDP2	0,4	22530
14	LVMDP1	0,4	11150
15	LVAP-1	0,4	558600
16	LVAP-2	0,4	30600
17	LVDP-1	0,4	558600
18	LVDP-2	0,4	30600

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

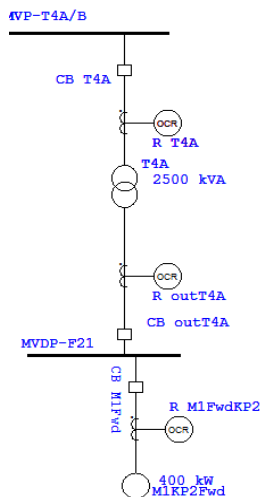
Untuk menjaga kontinyuitas produksi air bersih bagi masyarakat kota Surabaya, keandalan system kelistrikan di IPAM Karang Pilang harus diperhatikan. Dengan demikian, ketika terjadi gangguan arus lebih dapat diminimalisir. Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah pemilihan pada peralatan pengaman yang bertujuan hanya untuk mengisolasi sistem yang terjadi gangguan arus lebih fasa saja. Gangguannya dapat berupa *over load* dan *short circuit*. Sehingga perancangan koordinasi proteksi yang baik dan benar akan menjamin keberlangsungan pada proses industri.

Pada sistem koordinasi ini dilakukan pengaturan *setting* arus dan waktu pada rele arus lebih (50/51). Dari hasil koordinasi tidak diharapkan adanya beberapa peralatan pengaman yang bekerja bersamaan. Pada perhitungan *setting* rele arus lebih ini akan dihitung nilai *low set*, *high set*, dan *time dial*. Sedangkan untuk *time delay* dipilih *gradding time* 0,2s.

Setelah mendapatkan perhitungan pada parameter-parameter yang telah ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah plot *Time current curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada ETAP sehingga bisa dilihat *setting* koordinasi yang benar. Koordinasi rele ini harus memperhitungkan rele yang berada diatasnya atau dibawahnya. Rele pengaman harus memperhatikan arus *starting motor* dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo.

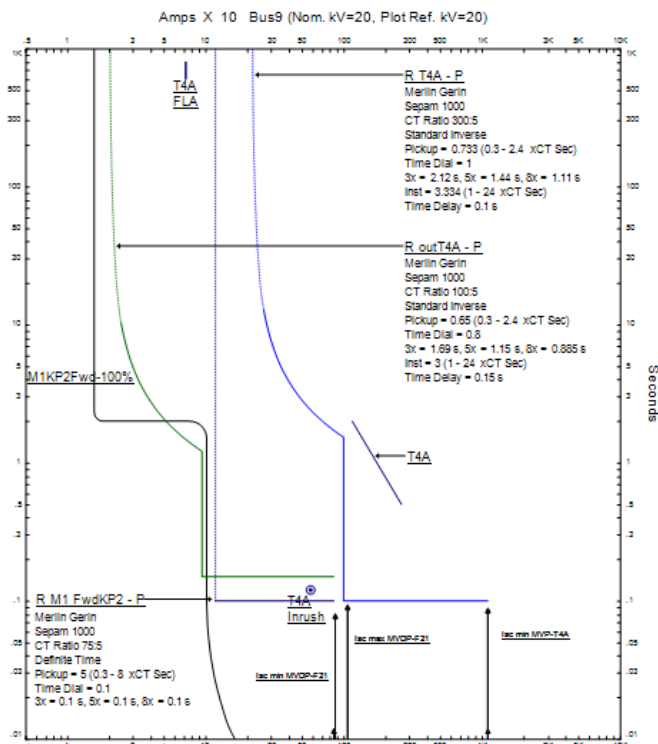
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Untuk mempermudah analisis, tipikal koordinasi 1 dibagi menjadi tiga bagian. Pada Gambar 4.1 dibawah ini adalah gambar tipikal 1a yang terdiri dari 3 *high voltage circuit breaker*. Pada HVCB menggunakan rele sebagai trigger HVCB untuk memutus sistem kelistrikan.



Gambar 4.1 Tipikal koordinasi 1a

Setting rele pengaman tipikal koordinasi 1a kondisi eksisting dapat dilihat pada kurva arus waktu di gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 1.a

Dari gambar 4.2 diatas dapat dianalisa sebagai berikut :

1. Apabila terjadi hubung singkat maksimum 3 fasa pada bus MVDP-F21 maka rele trafo T4A dan rele pengaman motor akan bekerja bersamaan karena tidak ada grading time dan setting high set rele T4A krang besar.
2. Rele Out T4A kemungkinan akan trip jika motor starting. Hal ini dikarenakan kurjanya bersinggungan.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele yang ada masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele pengaman arus lebih gangguan fasa adalah sebagai berikut :

☑ Rele M1FwdKP2

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA M1 FwdKP2	: 49,84 A
<i>CT ratio</i>	: 75 / 5
Isc max bus MVDP-F21	: 3,75 kA (6,3 kV)
Isc min bus MVDP-F21	: 2,77 kA (6,3 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times & \leq I_{set} \leq 1,4 \times \\
 1,05 \times 49,84 & \leq I_{set} \leq 1,4 \times 49,84 \\
 52,33 & \leq I_{set} \leq 69,78 \\
 \frac{52,33}{75} I_n & \leq Tap \leq \frac{69,78}{75} I_n \\
 0,69 I_n & \leq Tap \leq 0,93 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,7 I_n (*pickup range* 0,3 – 8 x CT Sec dengan *step* 0,05)
 Nilai Aktual I_{set} = 52,5 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,1 s

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{1}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right)^n - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right)^n - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ bus MVDP-F21}}}{I_t} \right)^n - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{1}{1,5 \times \left[\left(\frac{375}{75} \right)^n - 1 \right]}
 \end{aligned}$$

$T_d = 0,9$
 Dipilih $T_d = 1,2$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 5 \times I_{sc} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min bus MVDP-F21} \\ 5 \times 49,84 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 2770 \\ 249,2 &\leq I_{set} \leq 2216 \\ \frac{249,2}{75} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{2216}{75} I_n \\ 3,32 I_n &\leq \text{Tap} \leq 29,54 I_n \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 5 In (range 1 – 24x CT Sec dengan step 0,1)
Iset = 375 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,1 s

☑ Rele Out T4A

Manufacturer	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Curve Type	: Standard Inverse
FLA Sekunder T4A	: 229,1 A
CT ratio	: 100 / 5
Isc max bus MVDP-F21	: 3,75 kA (6,3 kV)
Isc min bus MVDP-F21	: 2,77 kA (6,3 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times I_{FLA} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times I_{FLA} \text{ Sekunder T4A} \\ 1,05 \times 229,1 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 229,1 \\ 240,55 &\leq I_{set} \leq 320,74 \\ \frac{240,55}{100} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{320,74}{100} I_n \\ 2,4 I_n &\leq \text{Tap} \leq 3,2 I_n \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 2,4 In (pickup range 0,3–2,4 x CT Sec dengan step 0,05)
Nilai Aktual Iset = 240 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,3 s

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\beta} - 1 \right]} \\ T_d &= \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\beta} - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$T_d = \frac{t \beta \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVDP-F21}}}{t} \right)^{0,02} - \right]}{,3 \quad 2,97 \left[\left(\frac{375}{100} \right)^{,} - \right]}$$

$$T_d = \frac{,3 \quad 2,97 \left[\left(\frac{375}{100} \right)^{,} - \right]}{,}$$

$$T_d = 0,4$$

Instantaneous Pickup

$$5 \times \text{sekunder T4A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus MVDP-F21}}$$

$$5 \times 229,1 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 2770$$

$$1145,5 \leq I_{set} \leq 2216$$

$$\frac{1145,5}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{2216}{100} I_n$$

$$11,45 I_n \leq \text{Tap} \leq 22,16 I_n$$

Dipilih Tap = 11 I_n (*range* 1 – 24x CT Sec dengan *step* 0,1)

Nilai actual I_{set} = 1100 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,3 s

☑ Rele T4A

Manufacturer

: MERLIN GERIN

Model

: SEPAM 1000

Curve Type

: *Standard Inverse*

FLA Primer T4A

: 72,71 A

CT ratio

: 300 / 5

$I_{sc \text{ min bus MVP-T4A/B}}$

: 13,57 kA (20 kV)

$I_{sc \text{ max bus MVP-T4A/B}}$

: 11,06 kA (20 kV)

$I_{sc \text{ max sekunder T4A}}$

: 3,75 kA (6,3 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{Primer} \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer T4A}$$

$$1,05 \times 72,71 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 72,71$$

$$76,34 \leq I_{set} \leq 101,794$$

$$\frac{76,34}{300} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{101,794}{300} I_n$$

$$0,25 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,34 I_n$$

Dipilih Tap = 0,3 I_n (*pickup range* 0,3–2,4 x CT Sec dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 90 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,1 s

$$t = \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-F21}}}{I_t} \right)^{0,02} - 1 \right]}{,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{1357}{300} \right)^{,02} - 1 \right]}$$

$$T_d = 0,3$$

Dipilih Time Dial = 0,5

Instantaneous Pickup

$$5 \times \text{Primer T4A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus MVP-T4A/B}}$$

$$5 \times 72,71 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 11060$$

$$363,55 \leq I_{set} \leq 8848$$

$$\frac{363,55}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{8848}{300} \text{ In}$$

$$1,21 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 29,49 \text{ In}$$

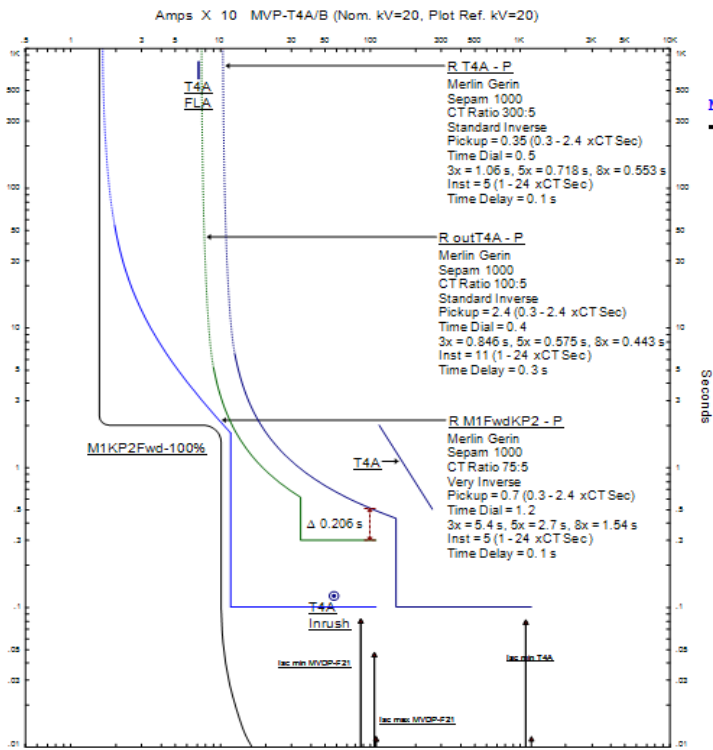
Dipilih Tap = 4 In (*range* 1 – 24x CT Sec dengan *step* 0,1)

Nilai actual Iset = 1200 A

Time Delay

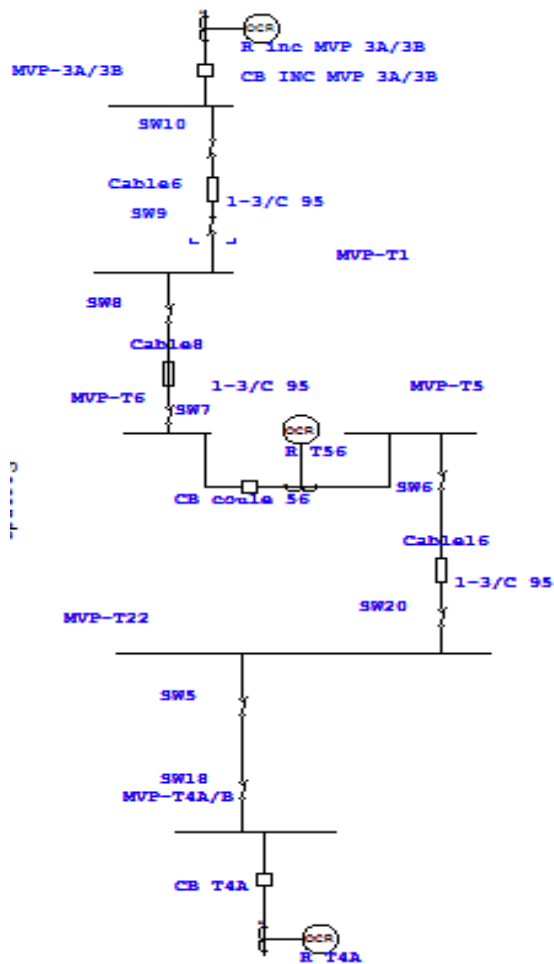
Time delay dipilih 0,1 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.3.



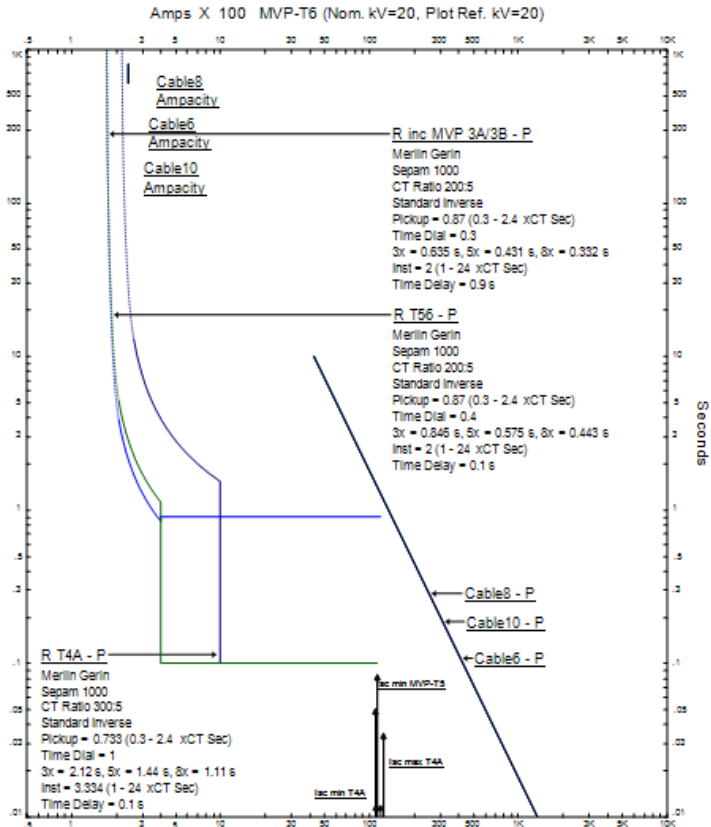
Gambar 4.3 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal Ia

Pada tipikal 1b terdiri dari 3 buah rele yang akan dikoordinasikan yaitu adalah rele R T3A, rele R T56, serta rele inc MVP 3A/3B, Tipikal 1b dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Tipikal koordinasi 1b

Setting rele pengaman tipikal koordinasi 1b kondisi eksisting dapat dilihat pada kurva arus waktu di gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 1b

Dari gambar 4.5 diatas dapat dianalisa sebagai berikut :

1. Apabila terjadi hubung singkat maka rele R T4A dan R T56 akan bekerja bersamaan pada 0,1 s. Hal ini dikarenakan *time delay* kedua relay sama.
2. Pada kurva dapat dilihat setting R T4A lebih besardari rele R T56 dan rele R inc MVP 3A/3B sehingga perlu *disetting* ulang.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele yang ada masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele pengaman arus lebih gangguan fasa adalah sebagai berikut :

☑ Rele T56

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA Bus MVP-T5	: 129,9 A
<i>CT ratio</i>	: 200 / 5
Isc max bus MVP-T5	: 13,97 kA (20 kV)
Isc min bus MVP-T5	: 11,38 kA (20 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{us} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{us} \\
 1,05 \times 129,9 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 129,9 \\
 136,3 &\leq I_{set} \leq 181,8 \\
 \frac{136,3}{200} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{181,8}{200} I_n \\
 0,68 I_n &\leq \text{Tap} \leq 0,91 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,7 In (*pickup range* 0,3 – 2,4 x CT Sec dengan *step* 0,05)
 Nilai Aktual Iset = 140 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,3 s

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}{t \beta \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t \beta \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVPD-F21}}}{I_t} \right) - 1 \right]}{t \beta \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVPD-F21}}}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{0,3 \times 2,97 \left[\left(\frac{13970}{200} \right) - 1 \right]}{2,97 \left[\left(\frac{13970}{200} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= 0,6
 \end{aligned}$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 5 \times I_{sc} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min bus MVP-T5} \\ 5 \times 129,9 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 11380 \\ 649,6 &\leq I_{set} \leq 9104 \\ \frac{649,5}{200} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{9104}{200} I_n \\ 3,25 I_n &\leq \text{Tap} \leq 45,52 I_n \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 6,5 In (range 1 – 24x CT Sec dengan step 0,1)
Iset = 1300 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,3 s

☑ Rele T3A/3B

Manufacturer	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Curve Type	: Standard Inverse
In bus MVP-T3A/3B	: 155,1 A
CT ratio	: 200 / 5
Isc max bus MVP-T3A/3B	: 14,83 kA (20 kV)
Isc min bus MVP-T3A/3B	: 12,07 kA (20 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times I_n &\leq I_{set} \leq 1,4 \times I_n \\ 1,05 \times 155,1 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 155,1 \\ 162,85 &\leq I_{set} \leq 217,14 \\ \frac{162,85}{200} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{217,14}{200} I_n \\ 0,8 I_n &\leq \text{Tap} \leq 1,08 I_n \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,8 In (pickup range 0,3–2,4 x CT Sec dengan step 0,05)
Nilai Aktual Iset = 160 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,5 s

$$t = \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-F21}}}{I_t} \right) - 1 \right]}{\beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-F21}}}{I_t} \right) - 1 \right]}$$
$$T_d = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{14830}{0,8 \times 200} \right) - 1 \right]}{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{14830}{0,8 \times 200} \right) - 1 \right]}$$
$$T_d = 1$$

Instantaneous Pickup

$$5 \times I_{sc} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min bus MVP-T3A/3B}$$
$$5 \times 155,1 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 12070$$
$$775,5 \leq I_{set} \leq 9656$$
$$\frac{775,5}{200} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{9656}{200} I_n$$
$$3,88 I_n \leq \text{Tap} \leq 48,28 I_n$$

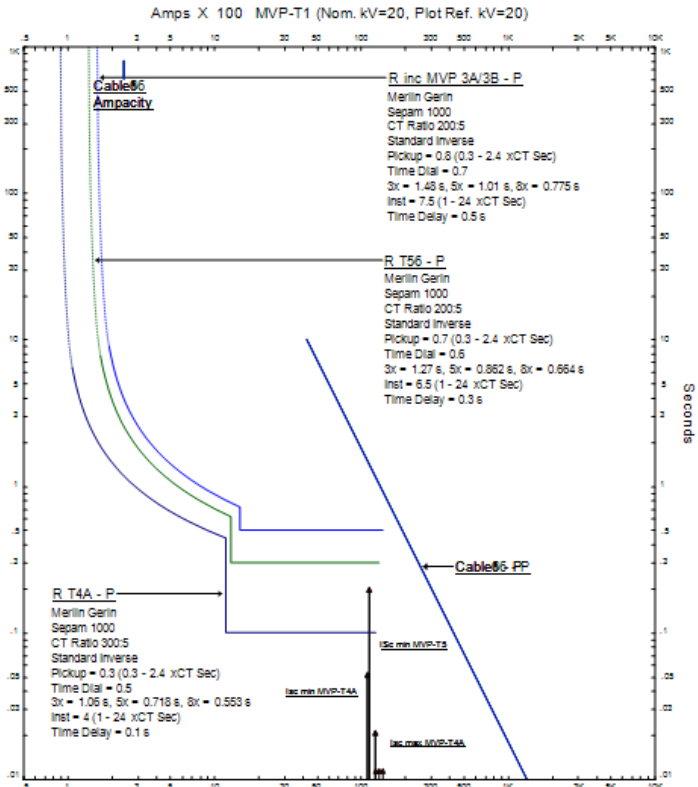
Dipilih Tap = 7 In (range 1 – 24x CT Sec dengan step 0,1)

Iset = 1400 A

Time Delay

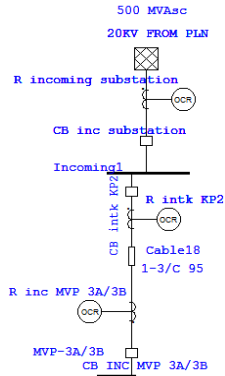
Time delay dipilih 0,5 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di plot kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.6.



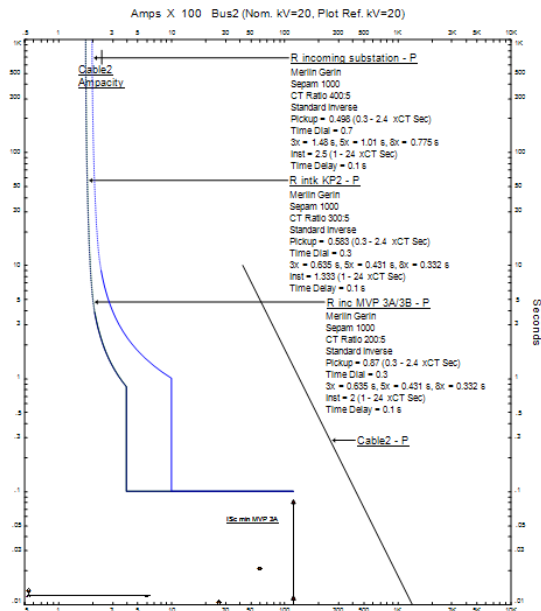
Gambar 4. 6 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 1b

Pada tipikal 1c terdiri dari 3 buah rele yang akan dikoordinasikan yaitu adalah rele inc MVP 3A/3B, rele intk KP2, serta rele incoming substation. Tipikal 1c dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Koordinasi Rele Tipikal 1c

Pada koordinasi rele tipikal 1c masih perlu disempurnakan. Hal itu di tandai dengan melihat pada kurva arus waktu pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 1c

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar kurva yang ada :

1. Dapat dilihat pada gambar diatas tidak ada grading time pada setting waktunya sehingga jika terjadi gangguan semua rele akan trip pada waktu 0,1 s
2. *Setting high set over current* lebih rendah dari rele sebelumnya sehingga perlu dinaikkan nilainya.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah adalah sebagai berikut :

☑ Rele intk KP2

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
In bus MVP-T3A/3B	: 155,1 A
<i>CT ratio</i>	: 300 / 5
Isc max bus MVP-T3A/3B	: 14,83 kA (20 kV)
Isc min bus MVP-T3A/3B	: 12,07 kA (20 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times I_{in} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times I_{in} \\
 1,05 \times 155,1 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 155,1 \\
 162,85 &\leq I_{set} \leq 217,14 \\
 \frac{162,85}{300} I_n &\leq Tap \leq \frac{217,14}{300} I_n \\
 0,54 I_n &\leq Tap \leq 0,72 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,55 In (*pickup range* 0,3–2,4 x CT Sec dengan *step* 0,05)
 Nilai Aktual Iset = 165 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,5 s

$$t = \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-T3A}}}{I_t} \right) - 1 \right]}{\beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-T3A}}}{I_t} \right) - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{0,14}{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{14830}{0,55 \times 300} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T_d = 0,9$$

Instantaneous Pickup

$$5x_{us} - \leq I_{set} \leq 0,8x_{Isc} \text{ min bus MVP-T3A}$$

$$5 \times 155,1 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 12070$$

$$775,5 \leq I_{set} \leq 9656$$

$$\frac{775,5}{300} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{9656}{300} \text{ In}$$

$$2,58 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 32,18 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 4,7 In (range 1 – 24x CT Sec dengan step 0,1)
 Iset = 1410 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,5 s

☑ Rele incoming substation

Manufacturer	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Curve Type	: Standard Inverse
In bus incoming subst	: 190 A
CT ratio	: 400 / 5
Isc max bus incoming	: 14,890 kA (20 kV)
Isc min bus incoming	: 12,5 kA (20 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times I_{\text{bus incoming}} &\leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times I_{\text{bus incoming}} \\
1,05 \times 190 &\leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times 190 \\
199,5 &\leq I_{\text{set}} \leq 266 \\
\frac{199,5}{400} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{266}{400} \text{ In} \\
0,49 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 0,66 \text{ In}
\end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,5 In (*pickup range* 0,3–2,4 x CT Sec dengan *step* 0,05)
 Nilai Aktual Iset = 200 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,9 s

$$\begin{aligned}
t &= \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right)^2 - 1 \right]}{t \beta \left[\left(\frac{I}{I_t} \right)^2 - 1 \right]} \\
T_d &= \frac{t \beta \left[\left(\frac{I_{\text{bus MVP-T3A}}}{I_t} \right)^2 - 1 \right]}{0,9 \times 2,97 \left[\left(\frac{14830}{0,55 \times 300} \right)^{0,02} - 1 \right]} \\
T_d &= 1,7
\end{aligned}$$

Dipilih tap = 1

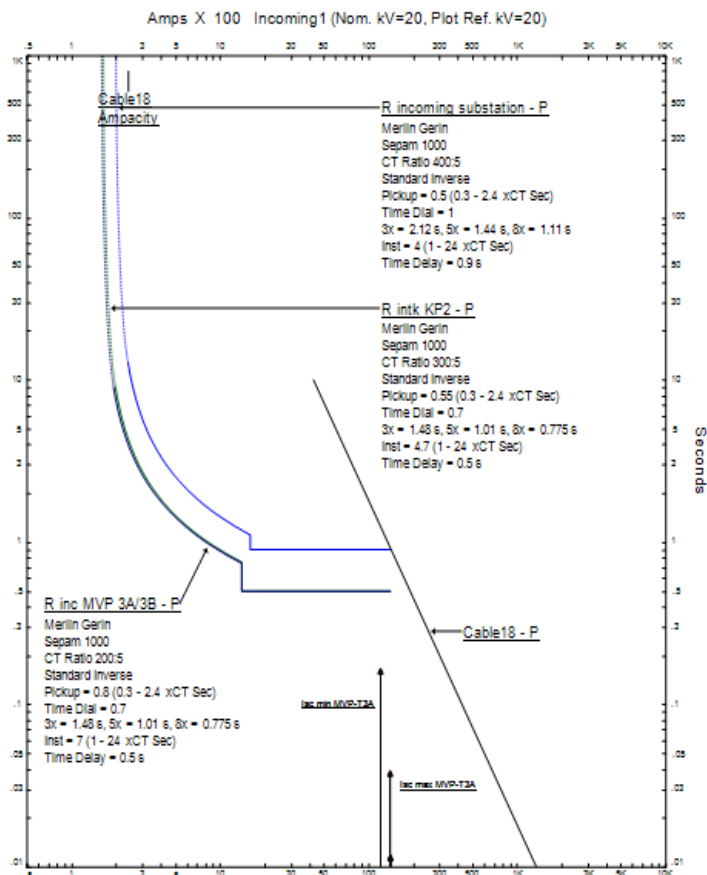
Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
5 \times I_{\text{bus incoming}} &\leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc min bus incoming}} \\
5 \times 190 &\leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 12500 \\
950 &\leq I_{\text{set}} \leq 10000 \\
\frac{950}{400} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{10000}{400} \text{ In} \\
2,37 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 25 \text{ In}
\end{aligned}$$

Dipilih Tap = 4 In (*range* 1 – 24x CT Sec dengan *step* 0,1)
 Iset = 1600 A

Time Delay

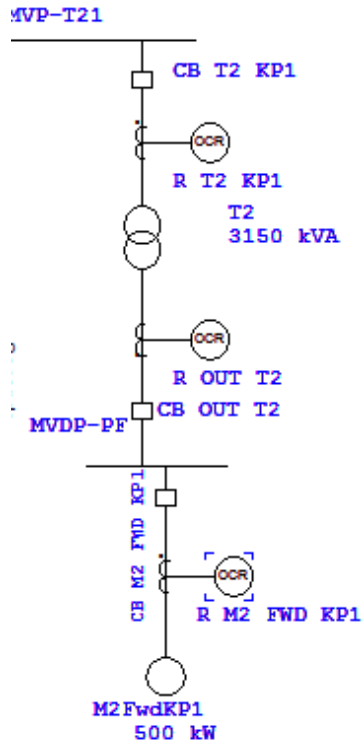
Time delay dipilih 0,9 s



Gambar 4.9 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 1c

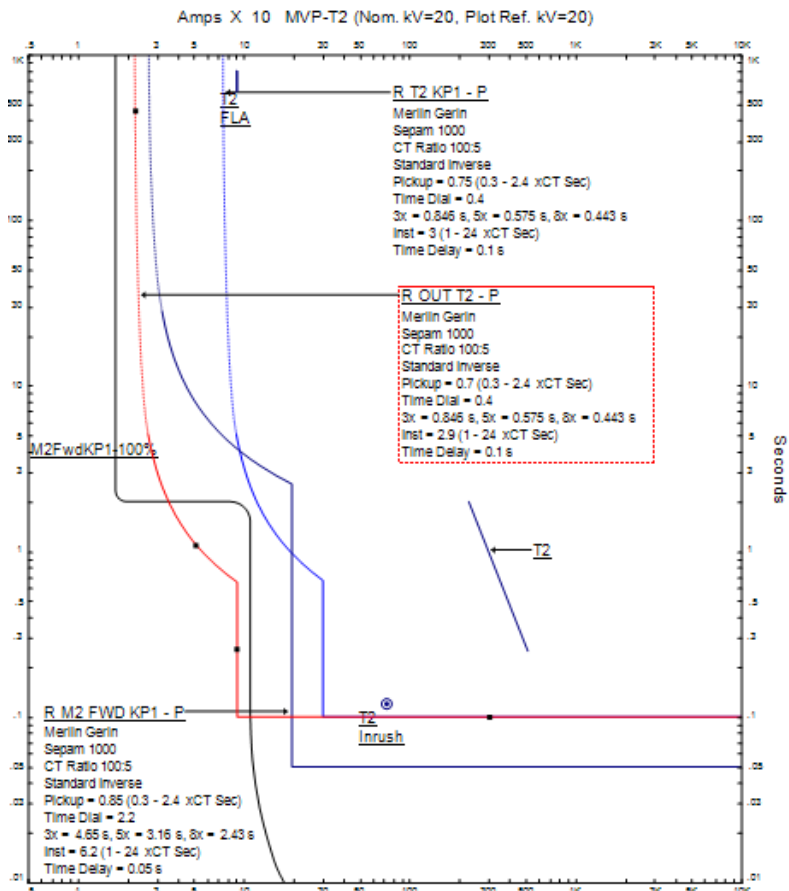
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2

Pada tipikal koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 2 terdapat 3 rele yang akan dikoordinasikan yang terdiri dari rele R M2 Fwd KP1, rele R Tout T2, dan rele R T2 KP1, Tipikal 2a dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Koordinasi Relé Tipikal 2a

Pada koordinasi relé tipikal 2a masih perlu disempurnakan. Hal itu dapat kita lihat dengan membaca kurva arus waktu pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 2a

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar hasil plotting:

1. *Setting* kurva rele Out T2 menyentuh kurva *starting* Motor M2 FwdKP1, jika motor tersebut start maka besar kemungkinan rele Out T2 akan bekerja sehingga mengakibatkan motor motor gagal *starting*.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang lebih tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele M2FwdKP1

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Very Inverse</i>
FLA M2 FwdKP1	: 53,53 A
CT ratio	: 100 / 5
Isc max bus MVDP-PF	: 39,84 kA (6,3 kV)
Isc min bus MVDP-PF	: 33,58 kA (6,3 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times 2 & 1 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 2 & 1 \\
 1,05 \times 53,53 & \leq I_{set} \leq 1,4 \times 53,53 \\
 56,2 & \leq I_{set} \leq 74,94 \\
 \frac{56,2}{100} I_n & \leq \text{Tap} \leq \frac{74,94}{100} I_n \\
 0,56 I_n & \leq \text{Tap} \leq 0,74 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,6 In (*pickup range* 0,3 – 8 x CT Sec dengan *step* 0,05)
 Nilai Aktual Iset = 60 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,1 s

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{1}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVDP-F21}}}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{0,1}{2,97 \times \left[\left(\frac{375}{75} \right)^{0,02} - 1 \right]} \\
 T_d &= 0,3
 \end{aligned}$$

Dipilih $T_d = 1,5$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 5 \times 2 \quad 1 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus MVDP-PF}} \\ 5 \times 53,53 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 33580 \\ 267,65 &\leq I_{set} \leq 26864 \\ \frac{267,65}{100} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{26864}{100} I_n \\ 2,67 I_n &\leq \text{Tap} \leq 268,64 I_n \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 4 In (range 1 – 24x CT Sec dengan step 0,1)
Iset = 400 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,1 s

☑ Rele Out T2

Manufacturer	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Curve Type	: Standard Inverse
FLA Sekunder T2	: 288,7 A
CT ratio	: 200 / 5
Isc max bus MVDP-PF	: 39,84 kA (6,3 kV)
Isc min bus MVDP-PF	: 33,58 kA (6,3 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times 2 \quad e u e \quad 2 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA Sekunder T2} \\ 1,05 \times 288,7 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 288,7 \\ 303,13 &\leq I_{set} \leq 404,18 \\ \frac{303,13}{200} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{404,18}{200} I_n \\ 1,5 I_n &\leq \text{Tap} \leq 2 I_n \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 1,5 In (pickup range 0,3–2,4 x CT Sec dengan step 0,05)
Nilai Aktual Iset = 300 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,3 s

$$t = \frac{1}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_n} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \beta \left[\left(\frac{I}{I_r} \right) - 1 \right]}{t \beta \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVPD-F21}}}{I_r} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{0,3 \cdot 2,97 \left[\left(\frac{39840}{200} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,3 \cdot 2,97 \left[\left(\frac{39840}{200} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T_d = 0,6$$

Instantaneous Pickup

$$5 \times \text{sekunder T2} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus MVP-PF}}$$

$$5 \times 288,7 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 33580$$

$$1443,5 \leq I_{set} \leq 26864$$

$$\frac{1443,5}{200} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{26864}{200} I_n$$

$$7,2 I_n \leq \text{Tap} \leq 134,32 I_n$$

Dipilih Tap = 7,2 In (range 1 – 24x CT Sec dengan step 0,1)
 Nilai actual Iset = 1440 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,3 s

☑ Rele T2

Manufacturer	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Curve Type	: Standard Inverse
FLA Primer T4A	: 90,93 A
CT ratio	: 100 / 5
Isc max bus MVP-T21	: 14,09 kA (20 kV)
Isc max bus MVP-T4A/B	: 11,85 kA (20 kV)
Isc max sekunder T2	: 39,84 kA (6,3 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{Primer} \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer T4A}$$

$$1,05 \times 90,93 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 90,93$$

$$95,48 \leq I_{set} \leq 127,3$$

$$\frac{95,48}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{127,3}{100} I_n$$

$$0,95 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1,27 \text{ In}$$

Dipilih Tap = In (*pickup range* 0,3–2,4 x CT Sec dengan *step* 0,05)

Nilai Aktual Iset = 100 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,5 s

$$t = \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}{\beta \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \beta \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-F21}}}{I_t} \right)^{0,02} - 1 \right]}{,5 \quad 2,97 \left[\left(\frac{1357}{300} \right)' - 1 \right]}$$

$$T_d = 1,2$$

Instantaneous Pickup

$$5 \times \text{Primer T2} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc min bus MVP-T21}$$

$$5 \times 90,93 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 11850$$

$$454,65 \leq \text{Iset} \leq 9480$$

$$\frac{454,65}{100} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{9480}{100} \text{ In}$$

$$4,54 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 94,8 \text{ In}$$

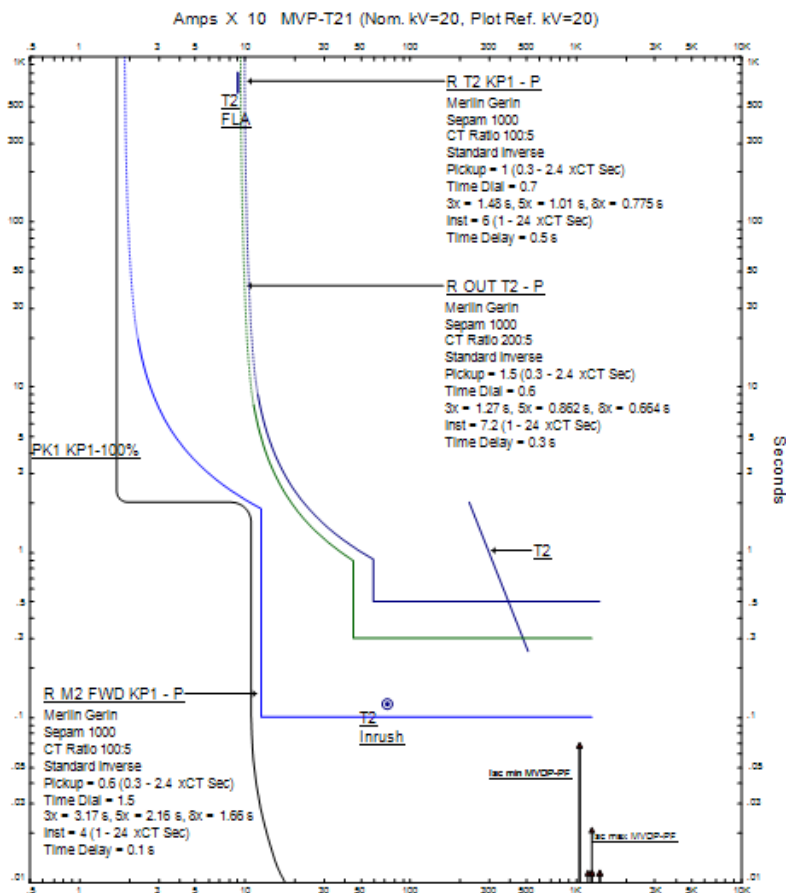
Dipilih Tap = 6 In (*range* 1 – 24x CT Sec dengan *step* 0,1)

Nilai actual Iset = 600 A

Time Delay

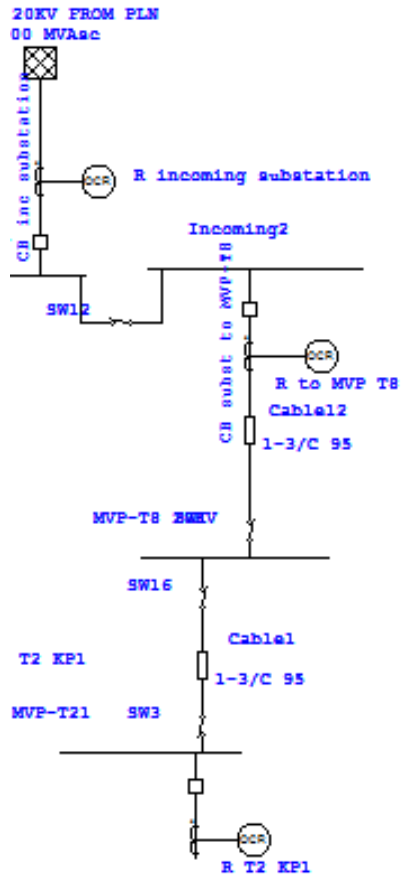
Time delay dipilih 0,5 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.12.



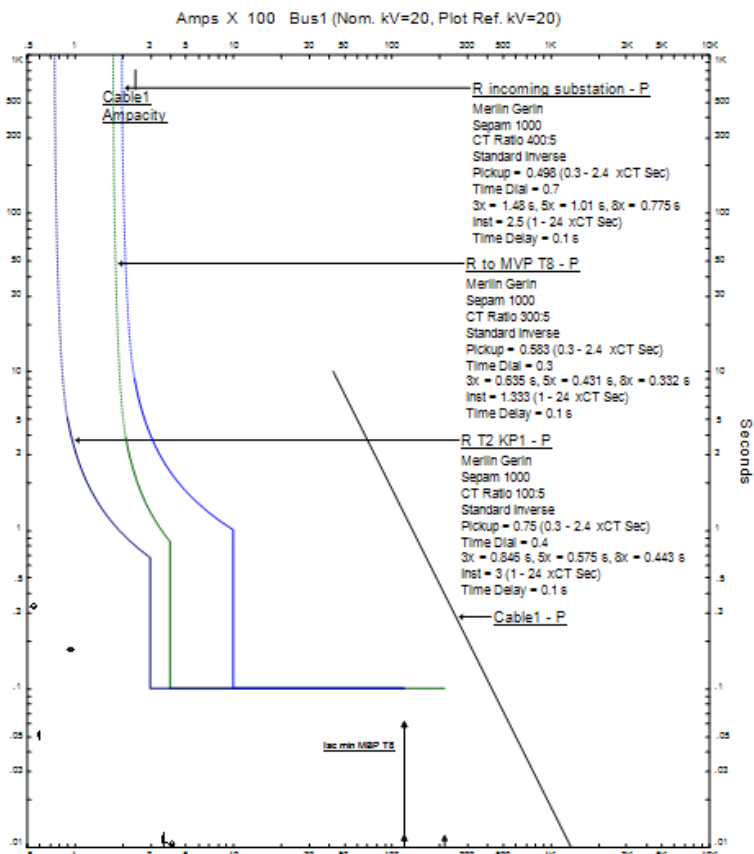
Gambar 4.12 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 2a

Pada tipikal 2b terdiri dari 3 rele yang akan dikoordinasikan yaitu rele R T2 KP1, R to MVP T82, serta rele incoming substation. Rele Tipikal 2b dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Koordinasi Rele Tipikal 2b

Pada koordinasi rele tipikal 2b masih perlu disempurnakan. Hal itu di tandai dengan hasil plotting kurva arus waktu eksisting tipikal 2b pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 2b

Berikut ini merupakan keterangan dari gambar hasil plotting:

1. Apabila terjadi *short circuit* minimum pada primer Trafo T2 Karang Pilang 1 maka ketiga rele tersebut diatas akan kerja bersamaan karena time delay dari ketiga rele tersebut sama-sama sebesar 0,1 s.
2. Seting *pickup lowset* dari rele tersbut diatas perlu disempurnakan agar ketika terjadi *overload* kerja rele bisa optimal.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan lagi agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat, Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele MVP-T8

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA bus MVP-T8	: 118,5 A
<i>CT ratio</i>	: 300 / 5
Isc max bus MVP-T3A/3B	: 14,09 kA (20 kV)
Isc min bus MVP-T3A/3B	: 12,07 kA (20 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05x \quad us \quad - \quad &\leq I_{se} t \leq 1,4x \quad FLA \quad us \quad - \quad 8 \\
 1,05 \times 118,5 \leq I_{set} &\leq 1,4 \times 118,5 \\
 124,14 \leq I_{set} &\leq 217,14 \\
 \frac{124,14}{300} I_n \leq Tap &\leq \frac{217,14}{300} I_n \\
 0,41 I_n \leq Tap &\leq 0,55 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,45 In (*pickup range* 0,3–2,4 x CT Sec dengan *step* 0,05)
 Nilai Aktual Iset = 135 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,7 s

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right)^\beta - 1 \right]}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right)^\beta - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-T8}}}{I_t} \right)^\beta - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{0,7}{\beta \times \left[\left(\frac{14090}{124,14 \times 300} \right)^{0,02} - 1 \right]} \\
 T_d &= 1,4 \\
 \text{Dipilih : } T_d &= 0,7
 \end{aligned}$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 5 \times 118,23 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min bus MVP-T8} \\ 591,15 &\leq I_{set} \leq 9744 \\ \frac{591,15}{300} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{9744}{300} \text{ In} \\ 1,97 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 32,48 \text{ In} \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 2,3 In (range 1 – 24x CT Sec dengan step 0,1)
Iset = 690 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,7 s

☑ Rele incoming substation

Manufacturer	: MERLIN GERIN
Model	: SEPAM 1000
Curve Type	: Standard Inverse
In bus incoming subst	: 190 A
CT ratio	: 400 / 5
Isc max bus incoming	: 14,890 kA (20 kV)
Isc min bus incoming	: 12,5 kA (20 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times I_{in} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times I_{in} \\ 1,05 \times 190 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 190 \\ 199,5 &\leq I_{set} \leq 266 \\ \frac{199,5}{400} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{266}{400} \text{ In} \\ 0,49 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 0,66 \text{ In} \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,5 In (pickup range 0,3–2,4 x CT Sec dengan step 0,05)
Nilai Aktual Iset = 200 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,9 s

$$t = \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}{\beta \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \beta \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-T3A}}}{I_t} \right) - 1 \right]}{0,9 \quad 2,97 \left[\left(\frac{14830}{0,55 \quad 300} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T_d = 1,7$$

Dipilih tap =1

Instantaneous Pickup

$$5 \times I_{\text{bus incoming}} \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc min bus incoming}}$$

$$5 \times 190 \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 12500$$

$$950 \leq I_{\text{set}} \leq 10000$$

$$\frac{950}{400} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{10000}{400} I_n$$

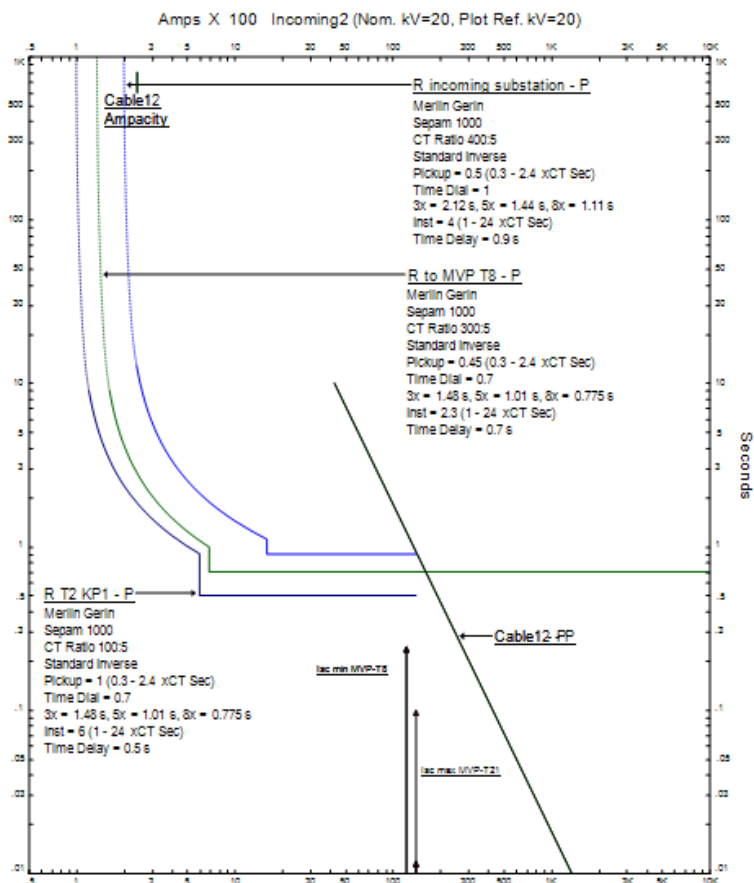
$$2,37 I_n \leq \text{Tap} \leq 25 I_n$$

Dipilih Tap = 4 I_n (*range* 1 – 24x CT Sec dengan *step* 0,1)
 Iset = 1600 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,9 s

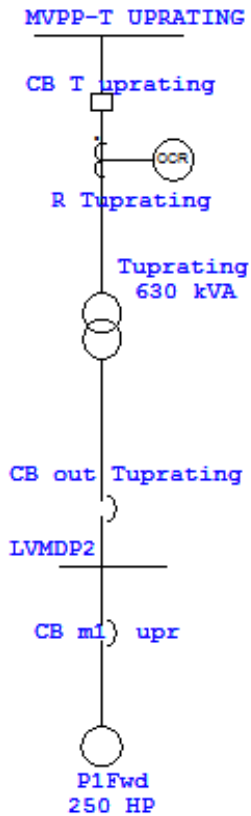
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 2b

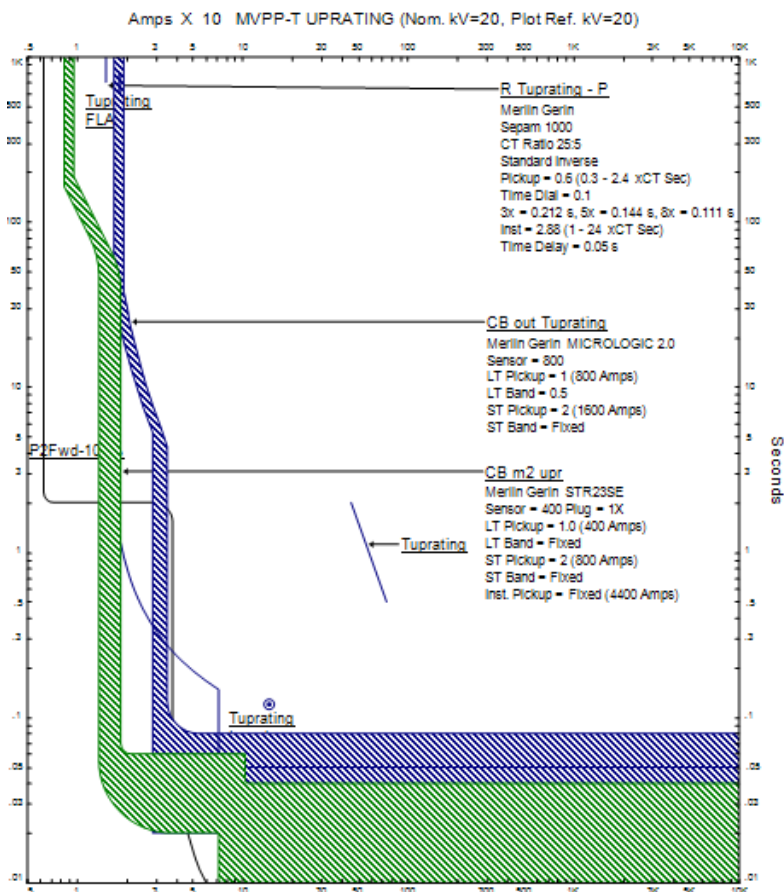
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3

Pada tipikal koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 3a terdapat 3 pengaman yang akan dikoordinasikan yang terdiri dari yaitu CB ml upr, CB Out T upr, dan rele T uprating. Tipikal 3a dapat dilihat pada Gambar 416.



Gambar 4.16 Koordinasi Rele Tipikal 3a

Pada koordinasi rele tipikal 3a masih perlu disempurnakan. Hal tersebut dapat di lihat pada hasil kurva plotting pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 3a

Berikut ini merupakan keterangan gambar:

1. Seting rele menyentuh kurva motor sehingga memungkinkan rele akan bekerja saat motor starting.
2. Rele T uprt dan CB out T uprt bisa trip bersamaan jika terjadi hubung singkat karena time delay yang sama 0,1 s.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ LVCB P1 Fwd KP1

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
FLA MFwdKP1	: 315,7 A
Isc min Bus LVMDP2	: 18,2 kA (0,4 kV)
Isc max Bus LVMDP2	: 22,53 kA (0,4 kV)
<i>Sensor</i>	: 400
Rating <i>plug</i>	: 360

Long Time Pick Up

$$\begin{aligned} 1,05 \times & \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA MFwdKP1} \\ 1,05 \times 315,7 & \leq I_{set} \leq 1,4 \times 315,7 \\ 331,48 & \leq I_{set} \leq 441,98 \end{aligned}$$

Dipilih $I_{set} = 342 \text{ A}$

$$\text{LT Pick Up} = \frac{I_{set}}{\text{Rating Plug}} = \frac{342}{360} = 0,95$$

Long Time Band

Dipilih LT Band = 2

Short Time Pick Up

$$\begin{aligned} 5 \times & \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus LVMDP2}} \\ 5 \times 315,7 & \leq I_{set} \leq 0,8 \times 18200 \\ 1578,5 & \leq I_{set} \leq 14560 \end{aligned}$$

Dipilih $I_{set} = 2736 \text{ A}$

$$\text{ST Pick Up} = 8$$

Short Time Band

Dipilih ST Band (time delay) = 0,1s

☑ LVCB Out T upr

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
FLA Sekunder T Upr	: 909,3 A
Isc min Bus LVMDP2	: 18,2 kA (0,4 kV)
Isc max Bus LVMDP2	: 22,53 kA (0,4 kV)

Sensor : 1250
Rating plug : 1000

Long Time Pick Up

$$1,05 \times I_{set} \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \text{ MFwdKP1}$$

$$1,05 \times 909,3 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 909,3$$

$$954,76 \leq I_{set} \leq 1273,02$$

Dipilih $I_{set} = 950 \text{ A}$

$$LT \text{ Pick Up} = \frac{I_{set}}{\text{Rating Plug}} = \frac{950}{1000} = 0,95$$

Long Time Band

Dipilih $LT \text{ Band} = 15$

Short Time Pick Up

$$5 \times I_{sc} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min bus LVMDP2}$$

$$5 \times 909,3 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 18200$$

$$4546,5 \leq I_{set} \leq 14560$$

Dipilih $I_{set} = 4750 \text{ A}$

$$ST \text{ Pick Up} = 5$$

Short Time Band

Dipilih $ST \text{ Band (time delay)} = 0,3 \text{ s}$

☑ Rele T Upr

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 1000
Curve Type : *Standard Inverse*
FLA primer T Upr : 18,19 A
CT ratio : 25 / 5
Isc min Bus MVP-T Upr : 12,18 kA (20 kV)
Isc max Bus MVP-T Upr : 14,49 kA (20 kV)
Isc,max sekunder T Upr : 22,53 kA (0,4 kV)
Konversi ke HV : $\frac{0,4}{20} \times 22,53 = 0,45 \text{ kA}$

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA T Upr} &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA T Upr} \\
 1,05 \times 18,19 &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 18,19 \\
 19,09 &\leq \text{Iset} \leq 25,47 \\
 \frac{19,09}{25} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{25,47}{25} \text{ In} \\
 0,76 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 1,01 \text{ In}
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,95 In

Nilai Aktual Iset = 23,75 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,1 s

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right)^n - 1 \right]}{t \beta \left[\left(\frac{I}{I_t} \right)^n - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t \beta \left[\left(\frac{I_{\text{bus MVP-T3A}}}{I_t} \right)^n - 1 \right]}{0,14} \\
 T_d &= \frac{0,1 \times 2,97 \left[\left(\frac{14830}{55 \times 300} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} \\
 T_d &= 0,29 \\
 \text{Dipilih } T_d &= 0,9
 \end{aligned}$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 5 \times \text{Primer T Upr} &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc min bus MVP-T Upr} \\
 5 \times 18,19 &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 12180 \\
 90,95 &\leq \text{Iset} \leq 9744 \\
 \frac{90,95}{25} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{9744}{25} \text{ In} \\
 3,64 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 389,76 \text{ In}
 \end{aligned}$$

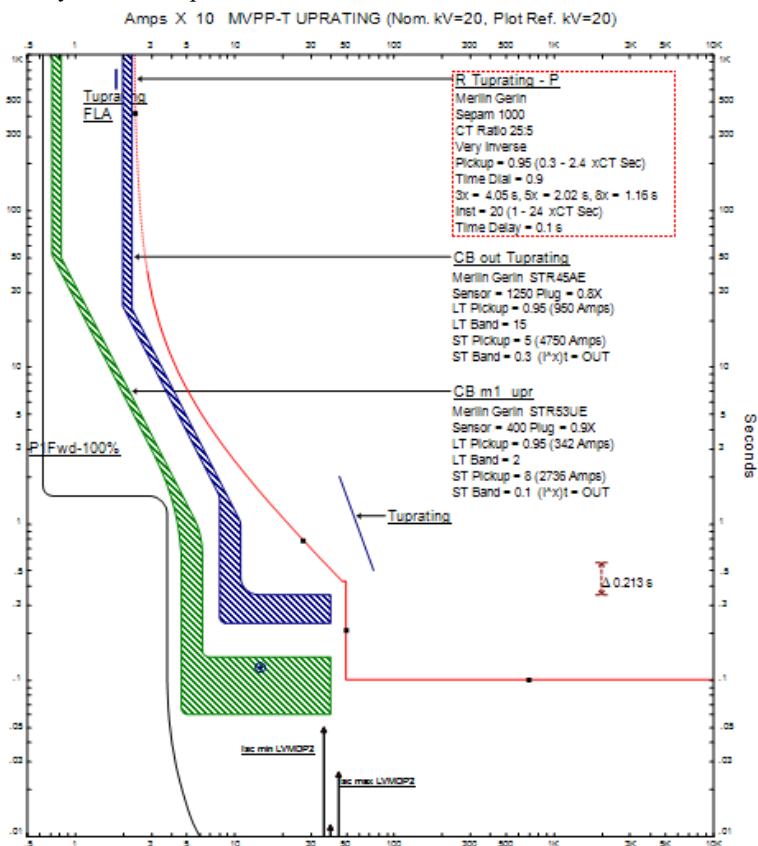
Dipilih Tap = 20 In (*range* 1 – 24x CT Sec dengan *step* 0,1)

Nilai actual Iset = 500 A

Time Delay

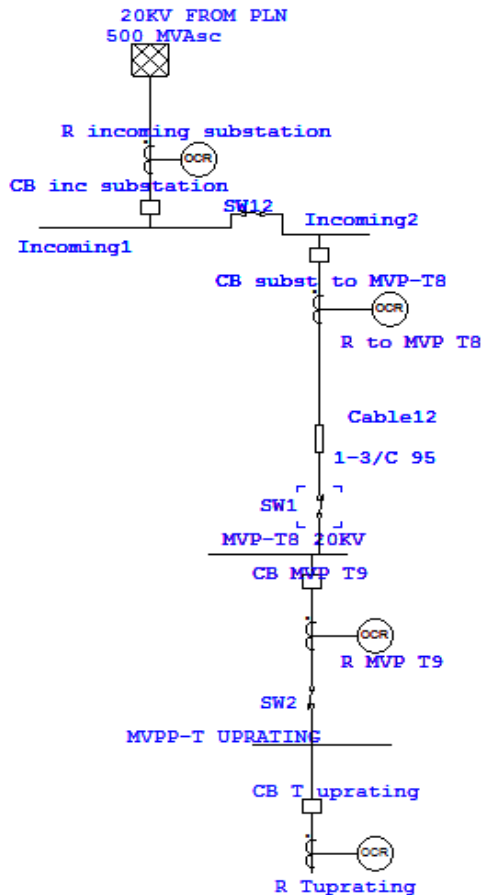
Time delay dipilih 0,1 s

Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi. Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.18.



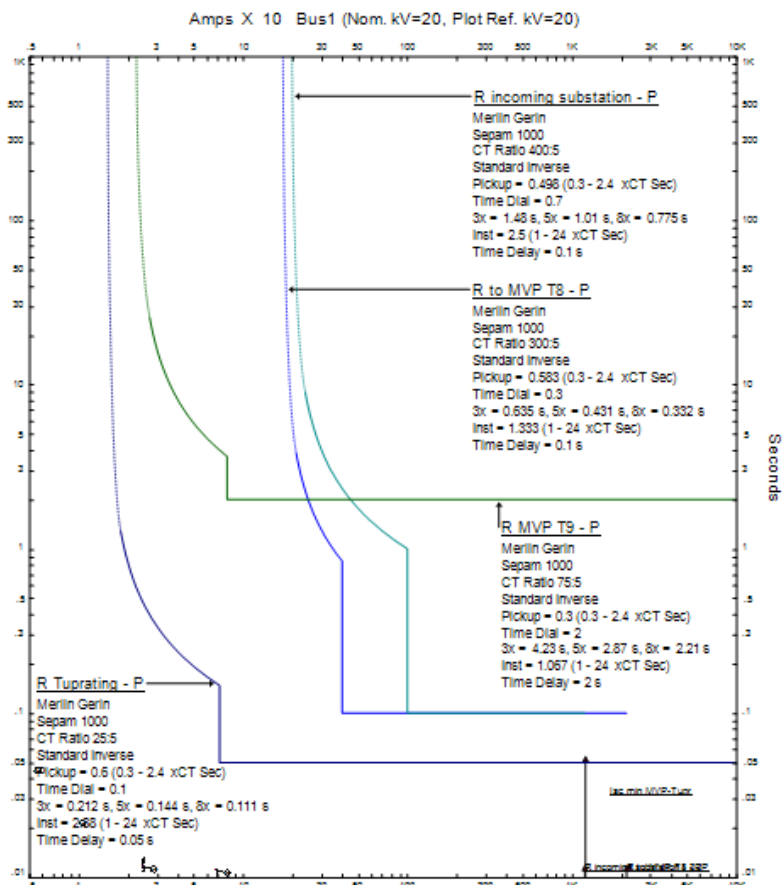
Gambar 4. 18 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 3,a

Pada tipikal 3b terdiri dari 3 rele yang akan dikoordinasikan yaitu rele R MVP T9, R to MVP T8, dan R incoming substation, rele Tipikal 3b dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 3b

Pada koordinasi rele tipikal 3,b masih perlu disempurnakan, Hal itu dapat di lihat pada gambar yang berada pada kurva arus waktu pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Existing* Tipikal 3b

Berikut ini merupakan keterangan pada dari plotting gambar:

1. Apabila terjadi *short circuit* pada bus MVP- T8 maka rel R to MVP T8 dan R incoming substation akan bekerja bersamaan sehingga akan terjadi pemadaman yang lebih luas.
2. *Time delay* dari R MVP T9 terlalu lama sehingga saat terjadi gangguan maka rele diatasnya akan bekerja lebih dulu.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan lagi agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

☑ Rele MVP T9

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA primer T Upr	: 18,19 A
<i>CT ratio</i>	: 25 / 5
Isc min Bus MVP-T Upr	: 12,18 kA (20 kV)
Isc max Bus MVP-T Upr	: 14,49 kA (20 kV)
Isc,max sekunder T Upr	: 22,53 kA (0,4 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA T Upr} &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA T Upr} \\
 1,05 \times 18,19 &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 18,19 \\
 19,09 &\leq \text{Iset} \leq 25,47 \\
 \frac{19,09}{75} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{25,47}{75} \text{ In} \\
 0,25 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 0,34 \text{ In}
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,3 In

Nilai Aktual Iset = 26,25 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,3 s

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{1}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{t}{\beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-T Upr}}}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
 T_d &= \frac{0,14}{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{14490}{75} \right)^{0,02} - 1 \right]} \\
 T_d &= 0,85
 \end{aligned}$$

Dipilih $T_d = 0,9$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 5 \times \text{Primer T Upr} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus MVP-T Upr}} \\
 5 \times 18,19 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 12180 \\
 90,95 &\leq I_{set} \leq 9744 \\
 \frac{90,95}{75} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{9744}{75} I_n \\
 1,21 I_n &\leq \text{Tap} \leq 129,92 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih $\text{Tap} = 7 I_n$ (*range* 1 – 24x CT Sec dengan *step* 0,1)
 Nilai actual $I_{set} = 525 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0,3 s

☑ Rele MVP-T8

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse</i>
FLA bus MVP-T8	: 118,5 A
CT ratio	: 300 / 5
$I_{sc \text{ max bus MVP-T3A/3B}}$: 14,09 kA (20 kV)
$I_{sc \text{ min bus MVP-T3A/3B}}$: 12,07 kA (20 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times I_{sc \text{ min bus MVP-T3A/3B}} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times I_{sc \text{ max bus MVP-T3A/3B}} \\
 1,05 \times 118,5 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 118,5 \\
 124,14 &\leq I_{set} \leq 217,14 \\
 \frac{124,14}{300} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{217,14}{300} I_n \\
 0,41 I_n &\leq \text{Tap} \leq 0,55 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih $\text{Tap} = 0,45 I_n$ (*pickup range* 0,3–2,4 x CT Sec dengan *step* 0,05)
 Nilai Aktual $I_{set} = 135 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,7 s

$$t = \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ bus MVP-T8}}{I_t} \right) - 1 \right]}{0,14 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{14090}{300} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T_d = 1,4$$

Dipilih : $T_d = 0,7$

Instantaneous Pickup

$$5 \times I_{sc} \text{ bus MVP-T8} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ bus MVP-T8}$$

$$5 \times 118,23 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 12180$$

$$591,15 \leq I_{set} \leq 9744$$

$$\frac{591,15}{300} I_n \leq Tap \leq \frac{9744}{300} I_n$$

$$1,97 I_n \leq Tap \leq 32,48 I_n$$

Dipilih $Tap = 2,3 I_n$ (range 1 – 24x CT Sec dengan step 0,1)
 $I_{set} = 690 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0,7 s

☑ Rele incoming substation

Manufacturer : MERLIN GERIN
 Model : SEPAM 1000
 Curve Type : Standard Inverse
 In bus incoming subst : 190 A
 CT ratio : 400 / 5
 Isc max bus incoming : 14,890 kA (20 kV)
 Isc min bus incoming : 12,5 kA (20 kV)

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times I_{sc} \text{ bus incoming} \leq I_{set} \leq 1,4 \times I_{sc} \text{ bus incoming}$$

$$1,05 \times 190 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 190$$

$$\begin{aligned}
199,5 &\leq I_{set} \leq 266 \\
\frac{199,5}{400} I_n &\leq Tap \leq \frac{266}{400} I_n \\
0,49 I_n &\leq Tap \leq 0,66 I_n
\end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,5 In (*pickup range* 0,3–2,4 x CT Sec dengan *step* 0,05)
 Nilai Aktual Iset = 200 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,9 s

$$\begin{aligned}
t &= \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]}{\left[\left(\frac{I}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
T_d &= \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-T3A}}}{I_t} \right) - 1 \right]}{\left[\left(\frac{I_{s \text{ bus MVP-T3A}}}{I_t} \right) - 1 \right]} \\
T_d &= \frac{0,14}{,9 \times 2,97 \left[\left(\frac{14830}{,55 \times 300} \right)^{0,02} - 1 \right]} \\
T_d &= 1,7
\end{aligned}$$

Dipilih tap = 1

Instantaneous Pickup

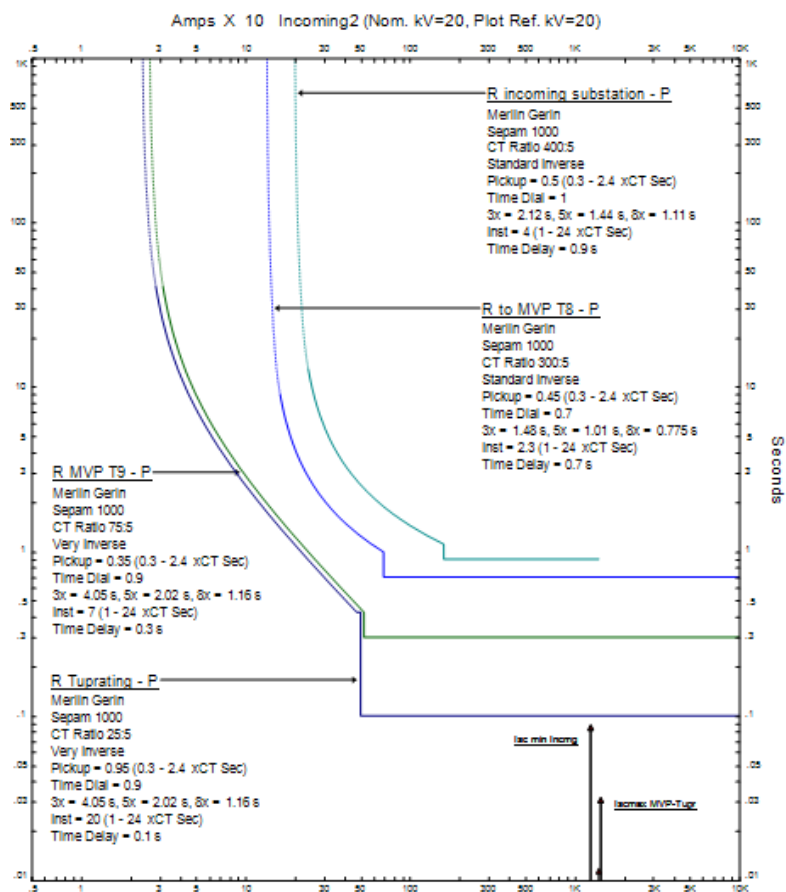
$$\begin{aligned}
5 \times I_{\text{bus incoming}} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min bus incoming}} \\
5 \times 190 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 12500 \\
950 &\leq I_{set} \leq 10000 \\
\frac{950}{400} I_n &\leq Tap \leq \frac{10000}{400} I_n \\
2,37 I_n &\leq Tap \leq 25 I_n
\end{aligned}$$

Dipilih Tap = 4 In (*range* 1 – 24x CT Sec dengan *step* 0,1)
 Iset = 1600 A

Time Delay

Time delay dipilih 0,9 s

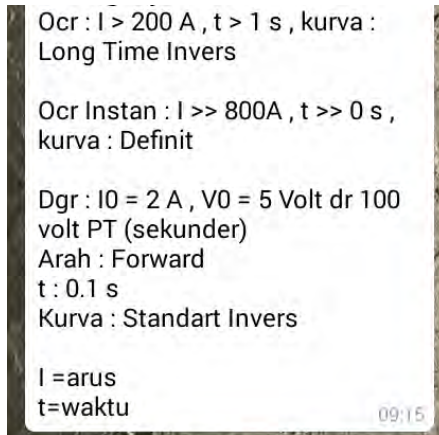
Dengan menggunakan hasil perhitungan diatas, maka dapat di *plot* kurva arus waktu kondisi *resetting* pada *software* simulasi Dan hasilnya adalah seperti Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Kurva Koordinasi Arus Waktu *Resetting* Tipikal 3b

4.5 Nilai setting CB PLN yang masuk ke Substation PDAM

Setelah *resetting* terhadap semua CB dilakukan, maka perlu dilakukan pengecekan pada *setting* CB yang masuk ke *substation* sistem kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang agar koordinasi proteksi bisa berfungsi sesuai keinginan. Nilai setting dari CB PLN dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Setting CB yang masuk ke *substation* sistem kelistrikan PDAM IPAM Karang

Dari gambar diatas dapat diketahui untuk *setting* arus lebih waktu instan batas arusnya cukup kecil dan time delay yang digunakan sangat kecil sehingga jika terjadi gangguan hubung singkat di sistem kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang akan terjadi pemadaman total.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi dan analisis koordinasi rele pengamanan pada system kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil plot koordinasi kurva arus waktu *eksisting* PDAM IPAM Karang Pilang dapat diketahui bahwa banyak rele yang terjadi kesalahan koordinasi antara rele utama dan rele *backup*, misalnya pada rele R T4A disetting dengan *time delay* 0,1 s dan rele R T56 dengan *time delay* 0,1 s. Hal ini berakibat rele akan bekerja bersamaan jika terjadi hubung singkat dan menyebabkan dampak pemadaman yang lebih luas, sehingga rele perlu *diresetting* menjadi R T4A dengan *time delay* 0,1 s dan rele R T56 dengan *time delay* 0,3 s.
2. *Setting* arus lebih waktu instan dari CB PLN batas arusnya cukup kecil dan tidak ada *time delay* yaitu pada nilai arus 800 A dengan waktu 0 s. Hal ini sangat memungkinkan terjadi pemadaman total jika terjadi gangguan hubung singkat pada sistem kelistrikan PDAM IPAM Karang Pilang.

5.2. Saran

Dengan mempertimbangkan hasil studi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, ada beberapa saran yang dapat menjadi masukan kedepannya antara lain sebagai berikut :

1. Untuk membatasi besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, diperlukan pemasangan NGR pada trafo tegangan menengah. Kondisi saat ini besarnya arus gangguan satu fasa ketanah sangat besar karena tipe *grounding* trafo *eksisting* adalah *solid grounding*
2. Dari *setting* rele pengamanan yang didapat dan hasil dari plot kurva arus waktu *resetting* dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan *setting* rele pengamanan di PDAM IPAM Karang Pilang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lazar irwin “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [2] Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [3] Grainger J.J, Stevenson William, “*Power System Analysis*”, McGraw-Hill Inc., New York, Ch. 12, 1994
- [4] Penangsang, Ontoseno.”*Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*”, Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya
- [5] IEEE std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Cordination of Industrial and Commercial Power System*”The institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001.
- [6] IEEE Std C37.112-1996, “IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1996.
- [7] Soeprijanto, Adi ”*Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2*”, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [8] Préve, Christophe, “Protection for Electrical Network”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006

BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Herman Filani dengan nama panggilan Herman, Lahir di Gresik pada tanggal 03 bulan Februari tahun 1990 beragama Islam, Tempat tinggal penulis di Ds, Bulang Kulon Kec, Benjeng-Gresik , Sekarang bertempat tinggal di Jl, Raya Keputih Tegal SPR jenBlok A/17 Surabaya karena masih berstatus mahasiswa di Kmpus ITS Surabaya, Motto yang diusung Rajin Pangkal Bisa, Malas Pangkal Takpunya, Penulis pernah menjalani pendidikan di Tk Dharmawanita Bulang Kulon, MI AL-Aslamiyah Bulang Kulon, SMPN 2 Benjeng, SMAN 1 Cerme, Program Studi Diploma 3 Teknik Elektro – Bidang Studi Teknik Elektro Industri di PENS-ITS , Tahun 2013 melanjutkan pendidikan Program Studi Lintas Jalur S1 Teknik Elektro – Bidang Studi Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya,